

Trabajo de Final de Grado

**Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**Aplicación del *Lean Manufacturing* por medio de la  
herramienta SMED en una prensa**

**MEMORIA**

**Autor:** Elías González Gómez  
**Director:** José Figueras Coloma  
**Convocatoria:** Febrero 2020



Escuela Técnica Superior  
De Ingeniería Industrial de Barcelona



## Resumen

Este trabajo se basa en la aplicación de una de las herramientas del *Lean Manufacturing* en una prensa de polvo metálico para reducir los tiempos que se tardan en preparar la máquina para que pueda empezar a producir series de piezas. Tal y como se podrá ver en el trabajo, el número de preparaciones existentes es demasiado elevado, motivo por el cual se decide poner el foco en 2: la más habitual y la más compleja, y reducir sus tiempos de preparación en un 20% cada una. La herramienta empleada para conseguirlo se denomina SMED, y tiene principalmente 2 funciones: 1) detectar todas aquellas operaciones que se pueden realizar fuera de la preparación para reducir el tiempo que se tarda en poner a punto la máquina, y la segunda es 2) optimizar todas las operaciones de la preparación para reducir sus tiempos de duración. En el trabajo se presentan y analizan cada una de las fases que componen el SMED, tanto a nivel teórico como práctico. Después de su realización, se realiza una propuesta de mejora teniendo en cuenta los cambios sugeridos por esta herramienta, y se habla también de las etapas a seguir para implantar el proyecto de mejora, las mejoras previstas y su coste de realización. En último lugar, se realiza un análisis económico y medioambiental para comprobar que el proyecto sea viable.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>5</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>7</b>
2.1. Origen del proyecto .....	7
2.2. Motivación .....	8
2.3. Requerimientos previos .....	8
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
3.1. Objetivos del proyecto.....	10
3.2. Alcance del proyecto.....	11
3.3. Metodología.....	11
<b>4. LEAN MANUFACTURING</b>	<b>13</b>
4.1. Historia y orígenes .....	13
4.2. Fundamentos y concepto de mejora continua.....	16
4.3. Herramientas Lean existentes .....	31
4.4. SMED .....	37
<b>5. APLICACIÓN A UN CASO</b>	<b>44</b>
5.1. Funcionamiento y líneas de producción de la planta .....	44
5.2. Justificación del caso elegido.....	47
<b>6. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MEJORA</b>	<b>55</b>
6.1. SMED .....	55
6.1.1. Observación y medición.....	55
6.1.1.1. Investigación .....	56
6.1.1.2. Medición.....	111
6.1.2. Separación de set-up interno y externo .....	118
6.1.3. Conversión de tareas internas a externas .....	122
6.1.4. Optimización .....	130
6.1.5. Implantación y seguimiento .....	132
6.2. Propuesta de mejora.....	132
6.3. Plan de actuación.....	142
6.4. Métricas de evaluación .....	143
6.5. Mejoras previstas .....	143

<b>7. PRESUPUESTO DEL PROYECTO MEJORA</b>	<b>155</b>
7.1. Honorarios.....	155
7.2. Adaptación y coste de las mejoras .....	155
<b>8. VIABILIDAD ECONÓMICA</b>	<b>158</b>
<b>9. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL</b>	<b>161</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>163</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>165</b>
<b>WEBGRAFÍA Y BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>166</b>
Webgrafía .....	166
Bibliografía .....	166

## 1. Glosario

Set-up o preparación: conjunto de operaciones que se llevan a cabo para poner la máquina a trabajar en serie y comenzar a producir piezas. Está compuesto generalmente de 3 fases: una en que desmonta la máquina de la orden anterior, otra en que vuelve a montarla con las herramientas y utillajes nuevos requeridos, y la última en que se regulan los parámetros de máquina para que pueda fabricar las piezas con las dimensiones y características exigidas

Trabajo en serie: es una etapa en la que la máquina ya produce piezas de forma continua, y con un tiempo fijado entre que salen una y otra pieza.

OF: es lo que se conoce como orden de fabricación. Es el documento que incluye el pedido realizado por un cliente, y que incluye todas las características y parámetros exigidos.

Scrap: conjunto de piezas consideradas defectuosas.

SMED: Single Minute Exchange of Die (cambio de matriz en un tiempo en minutos de 1 cifra). Es una herramienta empleada en *Lean Manufacturing*, la cual está concebida para reducir los tiempos de preparación



## 2. Prefacio

Este capítulo está pensado para explicar al lector cuáles son las causas que han llevado al estudiante a realizar este proyecto, por lo que, aunque no se antoja como un capítulo imprescindible, sí que se ha considerado de importancia para poder justificar su elección. En primer lugar, se hablará de cómo apareció la idea de hacerlo, es decir, de cuál es el origen del proyecto; en segundo lugar, se explicarán las motivaciones e incentivos que se tenían para realizarlo, y en último lugar se comentarán un poco los requisitos previos que exigía el trabajo.

### 2.1. Origen del proyecto

Con respecto al origen del proyecto, se puede decir que éste surge a partir de la entrada de una máquina nueva en una cierta línea de producción de la empresa; y como sucede en la mayoría de casos, todos los miembros pertenecientes a la sección deben formarse sobre el funcionamiento de la máquina, dado que lo desconocen. Es necesario entonces convocar formaciones para los operarios, ofrecer charlas sobre el funcionamiento de la nueva máquina incorporada, implantar procedimientos sobre cómo se empezará a trabajar a partir de ese momento...etc. Pero durante todo este tiempo, y hasta que llega el momento en que se entiende por completo el funcionamiento de la nueva máquina y sus procedimientos más óptimos para trabajar, pueden pasar muchos años o incluso puede no llegar nunca. Y es aquí donde puede entrar en escena la filosofía del *Lean Manufacturing* o de mejora continua. Para abreviar ahora su explicación y poder entenderlo de una forma más o menos sencilla (se explicará con detalle más adelante), podemos decir que el *Lean Manufacturing* es una forma de trabajo que lo que busca es eliminar todos los tipos de despilfarros existentes en una línea de producción, con el objetivo de producir productos de la forma más eficiente posible (en menos tiempo, a menos coste...). Teniendo en cuenta que la forma de trabajo basada en el *Lean* ya está implementada a nivel de todos los estamentos de la empresa, se antoja muy necesario hacer uso de esta filosofía para sacar el máximo rendimiento de la nueva máquina y de las formas de trabajar con ella.

Una máquina de una línea de producción, que en este caso se trata de una prensa, se puede mejorar de dos maneras: 1) **Aumentando sus prestaciones o capacidades**, como podría ser por ejemplo aumentar su potencia de compactación o disminuir el tiempo que tarda en compactar, o bien 2) **Implantando acciones de mejora continua**,

que serían por ejemplo reducir el tiempo de cambio de herramientas o reducir el tiempo de preparación de las piezas. La diferencia principal entre los 2 tipos de acciones radica en que las primeras mejoras dependen única y exclusivamente de las capacidades de la máquina y lo que mejoramos son las prestaciones de la máquina; mientras que las segundas nos permiten eliminar despilfarros (operaciones innecesarias, desplazamientos inútiles...) y mejorar los tiempos de operación de la máquina sin haberla tenido que potenciar (sin haber mejorado sus capacidades). En una máquina que acaba de ser incorporada a la empresa no se siguen los procedimientos óptimos ni probablemente se hayan eliminado todas las operaciones que sean innecesarias, por lo que el margen de mejora que se tiene para optimizarla y reducir sus tiempos de preparación de productos sin tener que potenciarla es muy elevado, hecho que era un gran incentivo para llevar a cabo el estudio sobre esta prensa de control numérico.

## 2.2. Motivación

Uno de los motivos por los que se ha decidido realizar este trabajo final de carrera es que para la empresa era uno de sus proyectos prioritarios y de más importancia a día de hoy. Al ser una empresa que está plenamente metida en la filosofía del *Lean*, la entrada de una nueva máquina en la empresa necesita con urgencia de una optimización de sus métodos de trabajo. Además, tal y como se ha dicho antes, se trata de un proyecto que ofrece un gran margen de mejora, por lo que en este sentido su realización es muy atractiva dado que dependiendo de la calidad del trabajo que se realice, se pueden llegar a obtener resultados realmente espectaculares.

Sin embargo, el motivo principal que terminó de decantar la balanza en favor de este proyecto es que las mejoras que se consigan implantar en tiempos de preparación serán **mejoras visibles y medibles**. Tras haber aplicado todas las herramientas Lean destinadas a reducir los tiempos de preparación de la prensa, podremos ver realmente cuánto se ha mejorado el proceso y se podrá medir físicamente cuántos minutos se han reducido las preparaciones, hecho que con otros proyectos sólo se puede calcular a nivel cualitativo.

## 2.3. Requerimientos previos

Para realizar este proyecto lógicamente ha sido necesario adquirir previamente conocimientos sobre **Lean Manufacturing** y también, aunque en menor grado,



conocimientos sobre el **análisis de datos**. El Lean es obvio que era necesario dado que el proyecto es propiamente un proyecto Lean o de mejora continua y se tenían que conocer sus fundamentos, y además se necesitaba conocer de antemano todas las herramientas Lean existentes para saber así cuáles era conveniente utilizar para este caso concreto. En lo que respecta al análisis de datos, también era necesario tener conocimiento acerca de la elaboración y creación de plantillas de toma de tiempos para así poder recoger todos los datos que fueran de interés, así como su posterior análisis e interpretación.

### 3. Introducción

Tras haber visto las causas que originan el trabajo, se comenzará un nuevo capítulo en que ya se empezará a hablar del proyecto y a hablar de metas a conseguir. En este nuevo capítulo se definirán cuáles son los objetivos que se busca cumplir con la finalización del proyecto, cuál es su alcance, es decir, hasta qué punto se quiere llegar, y por último hablar sobre la metodología empleada.

#### 3.1. Objetivos del proyecto

Los objetivos que se busca alcanzar con este proyecto se pueden dividir en 2 grupos, en función de si son principales o secundarios:

Objetivos principales:

- Conocer a fondo las bases y principios del *Lean Manufacturing*, así como su origen y procedencia.
- Conocer el funcionamiento y el proceso de montaje y preparación de una prensa de polvo de metal duro.
- Conocer a nivel teórico en qué consiste la herramienta *Single Minute Exchange of Die* (SMED), y aprender cómo implantarla a nivel práctico para reducir los tiempos de preparación.
- Reducir los tiempos de preparación de la prensa considerando los tipos de montaje más habitual y más complejo de todos en un 20 % cada uno.

Objetivos secundarios:

- Aprender cuáles son las herramientas Lean más utilizadas a día de hoy en las industrias.
- Conocer el proceso de la línea de producción que sufre un producto en forma de polvo metálico hasta que se vende a cliente.
- Aprender a priorizar el estudio sobre uno u otro producto en función del volumen de ventas y/o las necesidades de la empresa.

- Aprender a tomar datos de tiempos de preparación de forma simultánea a la realización de las preparaciones.
- Aprender a trabajar en equipo y con colaboraciones de demás empleados y departamentos (operarios, supervisores de producción, *lean champion*, jefe de planta...).

### 3.2. Alcance del proyecto

En el alcance del proyecto han de definirse claramente cuáles serán los usuarios del proyecto, lo que se espera obtener con el éxito del proyecto, y cuáles son las metas y fases que se han de seguir para conseguir cumplir con los objetivos.

El objetivo principal del proyecto consiste en reducir el tiempo dedicado a las preparaciones de una prensa de polvo metálico. Pero no el de todas las preparaciones, que sería un proyecto de demasiada envergadura, sino que se hará énfasis en 2 de ellas: la que sea más habitual en la prensa, y la que sea más larga y compleja de todas. Se ha propuesto como objetivo reducir sus valores en un 20% cada una, lo que permitiría que se comenzaran antes las series de piezas y que se generaran más piezas al día, incrementando los beneficios.

Los usuarios interesados en que el proyecto tenga éxito está claro que son los propios empleados de la empresa, pero no sólo los jefes de planta y producción porque les pueda permitir generar más ingresos, sino también los propios operarios, dado que el éxito del proyecto les permitiría trabajar de una forma más rápida, sencilla y ergonómica.

Por último, cabría destacar las fases que se seguirán durante el proyecto para asegurar que sea exitoso, pero se ha decidido incluirlas en la metodología, por lo que se podrán ver en el siguiente apartado.

### 3.3. Metodología

Tal y como sucede en otros proyectos, es necesario ahora definir el contenido de este trabajo, es decir, cuáles son los puntos que se tratarán y con qué nivel de profundidad se van a estudiar. Una vez se hayan definido, podremos así terminar de tener claros los objetivos y metas a alcanzar con la realización del trabajo.

Lo que se hará en el proyecto es:

- 1) Se estudiarán los orígenes y conceptos fundamentales del *Lean Manufacturing*.
- 2) Se presentarán las herramientas básicas existentes hoy en día empleadas para aplicar el *Lean Manufacturing*, explicando y justificando el porqué del uso del SMED
- 3) Se tomarán tiempos de preparación de la prensa, justificando por qué se ha elegido esa máquina en toda la línea de producción y no otra. Después, se analizarán estos tiempos y se pasará a plantear la propuesta de mejora, aplicando la herramienta mencionada antes. Se quiere remarcar que el proyecto únicamente afecta al tiempo de preparación de la prensa, es decir, el tiempo que se tarda en montar la máquina y ponerla a punto para empezar a producir piezas. Los tiempos que tarda la máquina en producir (tiempo de ciclo) o los tiempos de otras máquinas de la línea de producción no entran dentro del proyecto, y por tanto no se harán acciones para mejorarlos.
- 4) Tras proponerse posibles acciones de mejora obtenidas con el SMED, se valorará económica y medioambientalmente su implementación en la empresa.
- 5) Por último, se llevarán a cabo las conclusiones del trabajo.

## 4. *Lean Manufacturing*

Tras haber definido en el capítulo anterior la metodología del *Lean Manufacturing* como la indicada para realizar este proyecto, se define ahora un nuevo capítulo en el que se profundizará más en este concepto. Se hablará inicialmente de su origen y procedencia, explicando con más detalle en qué consiste, y se continuará realizando una enumeración de las principales herramientas existentes hoy en día, para finalmente, acabar eligiendo entre éstas las más adecuadas para el objetivo propuesto.

### 4.1. Historia y orígenes

Los orígenes del *Lean Manufacturing* se remontan a finales del siglo XIX en Japón, donde en esa época la industria más importante era la textil. Sakichi Toyoda, inventor y empresario, nació en la región de Kosai, en el seno de una familia humilde donde su madre y abuela trabajan tejiendo telas. Sakichi, al ser consciente de las duras condiciones en que trabajaban y respaldado por su padre, que era un hombre muy inteligente y se lo llevaba siempre con él a trabajar a su pequeña empresa de carpintería, patentó en 1891 su primer telar manual, con el que sus familiares podrían trabajar en unas mejores condiciones. Al ver lo que consiguió desarrollar, se mudó a Tokio para poder comercializar su invento, y aunque al principio no fue fácil, logró fundar una pequeña compañía de telares manuales que con el paso de los años acabó de despegar gracias a la invención de los telares semiautomáticos, los cuales además incorporaban un novedoso mecanismo que paraba el telar en caso de que éste detectara una rotura en uno de los hilos de tejer (mecanismo conocido con el nombre de *Jidoka*).

Años después, y con el crecimiento de su hijo mayor Kiichiro, decidieron ir a visitar una de las empresas más importantes del momento: Ford, donde la inmensa cadena de producción de los automóviles les dejó perplejos. Un tiempo después Sakichi decidió vender los derechos de los telares automáticos para poder reinvertir el dinero en la industria de automoción debido, y su hijo, debido a la muerte inesperada de su padre, decidió seguir adelante con el proyecto, visitó muchas más fábricas de automoción y fundó la *Toyota Motor Company* años después. Sakichi Toyoda, dejó como herencia los primeros signos de lo que actualmente se conoce como *Lean Manufacturing*, entre los cuales podemos destacar su obsesión por la mejora continua, que no es más que la

idea de que cualquier aparato, técnica o sistema siempre se puede mejorar; y el concepto de *Jidoka*. Ambos conceptos fueron incorporándose paulatinamente en la nueva empresa de automoción, hasta que con el paso de los años llegaron a consolidarse y formar parte de los principios básicos y de la filosofía de la compañía.

Unos años más tarde, y con la aparición de la crisis, Kiichiro dejó la empresa mermado por la grave situación que sufrió la empresa debido a la segunda guerra mundial, en la que tuvo que ponerse a fabricar camiones para la guerra y dejar de producir coches. Con la marcha de Kiichiro, en 1950 llegaron Eiji Toyoda (que sería presidente de la compañía) y un poco más tarde Taiichi Ohno (gerente de la planta de producción), que decidieron visitar la planta de Ford que había en Detroit (USA), dado que en ese momento tenían el porcentaje más grande ventas de vehículos y cuya visita podría darles ideas para así poder relanzar el negocio. Tras estar allí, y después de que Eiji hubiera encargado a Taiichi aumentar la productividad de la planta de Toyota en un 800% con respecto a la producción que tenían, se decidió mantener el mismo modelo productivo de Ford, que consistía en un flujo a través de la cadena de montaje, pero haciendo mejoras significativas en lo que a flexibilidad del producto se refiere, dado que el mercado japonés era mucho más pequeño que el estadounidense o europeo, pero demandaba más variedad de productos. Como consecuencia de su visita en las plantas de fabricación, se dieron cuenta de que:

- El principal problema del sistema productivo de Ford eran los desperdicios, es decir, todas aquellas operaciones, objetos o acciones que no aportan valor al producto final o que no aumentan su utilidad de cara a las exigencias del cliente.
- No se controlaban los inventarios, las esperas o los reprocesos, y como consecuencia de esto había grandes cantidades de stock.
- Se propugnaba la reducción de costes fabricando vehículos en grandes cantidades pero limitando el número de modelos.

El problema que tenían los japoneses en ese momento, era que eran un país económicamente muy débil frente al poderío económico que presentaba USA, y que por tanto necesitaba alguna solución para poder hacer frente a las grandes empresas estadounidenses. De esta manera, mientras las empresas automovilísticas estadounidenses llevaban a cabo una política de reducción de costes basada en producir a gran escala y una variedad de modelos prácticamente nula, la *Toyota Motor Company* tuvo que buscar otra política diferente que les permitiera adaptarse a la menor

y más variada demanda de su mercado. Por eso, plantearon un modelo, conocido como *Toyota Production Sistem* basado en las siguientes premisas:

- Eliminar todas aquellas fuentes de despilfarros o desperdicios que tanto habían notado estaban presentes en Ford (operaciones innecesarias, grandes cantidades de stock almacenadas, transportes innecesarios de material...)
- Utilizar el modelo *Just InTime* en la demanda de materiales y suministros (proveedores) así como en la demanda exigida por los clientes. Este modelo será explicado con más detalle en el siguiente apartado, pero consiste básicamente (en caso de que lo enfoquemos a clientes) en producir únicamente lo que pide el cliente, en la cantidad que pide, sin producir más ni menos, y en la fecha que lo pide, para así no tenerlo listo ni antes de tiempo generando un coste de almacenamiento de stock, ni más tarde causando un retraso para el cliente. En el caso del proveedor se haría de forma análoga, exigiendo materiales en el momento y cantidad precisos.
- Implicar a los empleados y a toda la empresa en un ambiente de participación activa y recurrente, proponiendo posibles mejoras para la empresa, ayudar en tareas de mantenimiento preventivo... (que es uno de los pilares fundamentales de la filosofía *Lean*).
- Mejorar la relación con los proveedores, y apostar por una de confianza y transparente y a largo plazo, basada en el compromiso e intercambio de información.
- Buscar la calidad total, es decir, obtener el mínimo número de defectos posibles, y en caso de que se detecten, hacerlo lo antes posible para así poder parar la producción y no extender más el error.

Con el paso de los años, el *Toyota Production Sistem* fue desarrollándose e incorporando poco a poco los principios expuestos anteriormente, hasta llegar a tener una repercusión tal, que en 1973 y con el fin de la crisis del petróleo se empezó a sustituir en muchas plantas el modelo Fordista y Taylorista dominante hasta ese momento. Con el paso de los años fue desapareciendo el nombre de TPS (*Toyota Production Sistem*), y apareció lo que hoy en día conocemos como *Lean Manufacturing*, que en el fondo no es más que los principios básicos del sistema productivo de Toyota combinado con algunos conceptos añadidos de diferente procedencia, y un cambio de

mentalidad de la empresa.

## 4.2. Fundamentos y concepto de mejora continua

Tal y como se ha podido ver en el apartado anterior, se podría afirmar que el *Lean Manufacturing* nace del Sistema Productivo de Toyota, y que en consecuencia ambas metodologías de producción tienen que ser iguales o muy parecidas, y en efecto así es, pero con la diferencia de que el *Lean Manufacturing* incorpora nuevos conceptos que en el otro sistema productivo no se tenían en cuenta. Lo que se hará en este capítulo es explicar bien en qué consiste el *Lean Manufacturing*, para que así se puedan apreciar las diferencias existentes con el *Toyota Production System* explicado en el apartado anterior, y para dejar claro también cuáles son los objetivos que persigue la metodología elegida para este proyecto.

La filosofía del *Lean Manufacturing* busca la forma de mejorar y optimizar el sistema de producción, maximizando el valor para el cliente y tratando de eliminar o reducir todas las actividades que no añadan valor dentro del proceso productivo, que son las que se conocen típicamente como desperdicios, y que únicamente suponen una pérdida e inversión de recursos para las empresas. Debido a esto, es vital para las empresas y plantas productivas saber identificar sus actividades que no generan un valor añadido sobre el producto, pero, ¿cómo se puede saber cuáles añaden valor y cuáles no?

Se conoce como actividades que generan valor añadido a aquellas etapas del proceso productivo que transforman el producto, servicio o información de una forma por la que el cliente está dispuesto a pagar. Todo el resto de actividades o procesos que no añadan valor al producto deberán por tanto eliminarse o en segunda instancia tratar de reducirse lo máximo posible, dado que suponen un consumo de recursos para la empresa por el cual el cliente no está pagando y que lo único que hace es encarecer el proceso productivo disminuyendo el beneficio obtenido por la venta del producto.

El problema que tienen la mayoría de empresas es que no se conoce la filosofía del *Lean Manufacturing* es que cuando llevan a cabo actividades de mejora en la empresa, generalmente centran sus esfuerzos y recursos intentando mejorar o potenciar aquellas actividades que añaden valor al producto en vez de intentar focalizarse en eliminar todas aquellas actividades que les están suponiendo un coste extra de dinero y de tiempo y que además no le añaden valor. Para que se entienda este concepto que se acaba de explicar, se muestra el siguiente ejemplo, que correspondería a un esquema muy



simplificado de las diferentes etapas que podría seguir una pieza metálica que se fabrica desde que está en forma de polvo hasta que se verifica para vender a cliente:

P	T	C	T	H	V	M	V
5 min	5 min	20 min	10 min	30 min	20 min	20 min	15 min

*Tabla 1. Operaciones seguidas en proceso típico de fabricación de una pieza.*

**P: Prensado**

**T: Transporte**

**C: Clasificación**

**H: Horno**

**V: Verificación**

**M: Mecanizado**

*Codificación 1. Código de cada una de las operaciones de la tablas 1,2 y 3.*

Todo comienza con un prensado inicial del material, que pasa de estar en forma de polvo a convertirse en una pieza en verde (la cual es extremadamente frágil), seguido de un transporte por el interior de la propia fábrica hasta llevarlo a la zona de clasificación de productos, donde el producto es categorizado y clasificado en su respectiva familia de productos. Tras esto, se lleva el material de la zona de clasificado hasta la zona de hornos, donde éste se sinteriza. Una vez fuera del horno, se lleva el material para realizar una primera verificación exhaustiva de todas las cotas. Por último, se realiza el mecanizado del material y una última verificación para asegurar que esté todo correcto y que se cumplan con las restricciones impuestas por el cliente. El tiempo total que se tarda desde que se inicia el proceso productivo de la pieza hasta que se la entrega a cliente (aquí se obviará el tiempo de transporte hasta el cliente para simplificar el proceso), que es lo que se conoce como *Lead Time*, sería de 125 minutos en este caso. Lo que se hará a continuación es ver los distintos enfoques de mejora que propondría una empresa tradicional y una empresa *Lean*, de tal forma que se verá todo lo explicado anteriormente de una forma más clara.

## Empresa tradicional

Tal y como se ha dicho, lo que haría una empresa en la cual no se tiene conocimiento del *Lean Manufacturing* sería probablemente invertir en maquinaria, utensilios o herramientas más potentes que permitieran a la línea productiva mecanizar o prensar de una forma más eficaz, en vez de pararse a analizar el proceso productivo e identificar aquellas actividades que no añaden valor al producto. Supóngase que decidieran invertir en maquinaria y consiguieran reducir el tiempo de prensado y de mecanizado en un 20% cada una:

P	T	C	T	H	V	M	V
4 min	5 min	20 min	10 min	30 min	20 min	16 min	15 min

*Tabla 2. Operaciones seguidas en proceso típico de fabricación de una pieza tras aplicar mejoras de la empresa desde un punto de vista tradicional.*

Tal y como se puede ver, conseguirían reducir el **Lead Time** de 125 a **120 minutos** habiendo invertido una gran cantidad de dinero en mejorar la maquinaria. En este caso, lo que ha hecho esta empresa es centrarse en aquellas operaciones que sí que dan valor añadido al producto, dado que son operaciones que lo están transformando. En el prensado pasamos de materia prima a una primera versión del producto, y con el mecanizado se termina de darle las cotas y valores exigidos, por lo que se puede ver que ambas son operaciones por las que el cliente paga. Sin embargo, se ve que los resultados de mejora no son muy satisfactorios, dado que únicamente se ha conseguido rebajar el *Lead Time* en 5 minutos. Esto es debido a que generalmente cuesta mucho mejorar las operaciones que dan valor añadido al producto y el margen de mejora que se puede obtener es muy reducido, a no ser que se encuentren en el caso de que una máquina estaba siendo la menos adecuada para dicha operación y estuviera trabajando de forma muy improductiva.

Lo que propondría una empresa con el sistema *Lean* implementado sería analizar todas las actividades que tienen lugar en el proceso productivo, e identificar aquellas que no añaden valor al producto, o dicho de otra manera, aquellas por las que el cliente no está dispuesto a pagar, y atacarlas con el objetivo de eliminarlas (y si esto no fuera posible

tratar de reducirlas al máximo).

### Empresa *Lean*

Tal y como se puede apreciar, todos los transportes internos que se producen en la propia planta industrial, así como la clasificación de productos y las verificaciones son operaciones por las que el cliente no está pagando a la empresa, dado que a su producto no le está añadiendo ningún valor. Ahora bien, aunque sí que es cierto que la verificación de cotas no es una operación que esté añadiendo valor al producto, sí que se tiene que realizar para comprobar que se cumplen con los requisitos del cliente. Aun así, se podría ahorrar la primera verificación, dado que ya se va a realizar una posteriormente en la que se volverá a comprobar nuevamente todas las cotas, por lo que en este sentido ya sería un primer proceso que se ahorraría. Con respecto a los transportes por el interior de la empresa para ir de una zona a otra, está claro que son etapas que se tendrían que eliminar, dado que ocupan un porcentaje de tiempo muy elevado con respecto al *Lead Time* y no aportan nada al producto, además de aumentar el riesgo de daño de éste (especialmente cuando tenemos la pieza en verde). Dichas etapas podrían ser eliminadas (o como mínimo reducidas), modificando el *layout* de la planta, y enfocando las máquinas a trabajar por grupos de productos, de forma que unas máquinas estén cerca de las otras y se puedan ahorrar los tiempos de transporte entre una y otra. Por último, decir que la clasificación y categorización de los productos es otra operación que para lo único que sirve a la empresa es para tener sus productos controlados y ordenados según categorías, dado que no genera valor para éstos; pero que con un sistema adecuado de control y seguimiento sería innecesaria y podría suprimirse:

P	T	C	T	H	V	M	V
5 min	0 min	0 min	0 min	30 min	0 min	20 min	15 min

*Tabla 3. Operaciones seguidas en proceso típico de fabricación de una pieza tras aplicar mejoras de la empresa desde un punto de vista Lean.*

Si se llevaran a cabo estas medidas y se eliminaran aquellas operaciones mencionadas y que son innecesarias para la empresa, en vez de invertir en maquinaria o herramientas

más potentes de mayor capacidad, se podría lograr que **el nuevo Lead Time fuera de 70 minutos**, lo que supondría una rebaja del 44% con respecto al tiempo original de la línea de producción, y un aumento considerablemente grande de presencia de actividades que generan valor añadido con respecto a las que no lo generan en la línea.

Tal y como se ha podido comprobar, y a pesar de ser un ejemplo ficticio, éste es capaz de mostrar las grandes mejoras que se podrían llegar a experimentar en una empresa que empezara a apostar por el *Lean*. Una vez mostrado el ejemplo, se continuará la explicación detallando todos los tipos de desperdicios (o despilfarros) de los que se ha estado hablando durante este apartado, los cuales el *Lean* trata de eliminar (o reducir si su eliminación es imposible); no sin antes terminar de aclarar qué es un desperdicio por si ha quedado alguna duda: desperdicio es todo aquello que no aporta valor al producto, o dicho de otra forma, es todo aquello que no se considera absolutamente imprescindible para fabricarlo.

Según la teoría existente sobre el *Lean Manufacturing*, existen 7 tipos de despilfarros. Aquí se dirán que son 7+1 porque éste último no está considerado como despilfarro en algunos libros, pero se ha decidido incluirlo dado que según la definición de desperdicio que se ha dado, se ha creído que también se podría incluir:

1. Inventario
2. Transporte
3. Tiempo
4. Procesos
5. Movimientos
6. Defectos
7. Sobreproducción
- 7+1. Desaprovechamiento del talento o creatividad de los empleados.

A continuación, se detallarán todos y cada uno de ellos para que así se pueda conocer en qué consiste cada uno, las causas que los pueden generar, y también las consecuencias que pueden tener, que en algunos casos pueden ser importantes.

## **Inventario**

El desperdicio por almacenamiento de inventario se produce como consecuencia de tener una **mayor cantidad de existencias de las necesarias**. La presencia de este inventario o stock permite la existencia de productos muertos que únicamente se

pueden detectar al realizar inventarios físicos. Estos productos muertos pueden ser o bien productos/materiales que están un cierto tiempo esperando a pasar a la siguiente etapa del proceso productivo o bien productos/materiales obsoletos que ya no sirven pero que siguen ahí o bien porque no consiguieron pasar a la siguiente etapa del proceso de producción o bien porque la persona responsable de retirarlo no lo hizo en su momento.

Generalmente no suele ser muy grave que un producto esté un cierto tiempo parado sin avanzar en la línea de producción, pero dependiendo de la empresa puede tener consecuencias más graves de lo que pensamos. Un ejemplo podría ser una empresa de alimentación que tiene un cierto producto fresco el cual tiene que procesar para venderlo al público: si el producto está demasiado tiempo esperando para pasar a la siguiente etapa o está directamente parado y olvidado en una parte de la empresa, podría caducar o perder sus propiedades como consecuencia de esta espera y traer graves consecuencias, no solo para la empresa sino incluso para el propio cliente. Aplicado en la empresa de la cual se realizará el estudio de la prensa, podría suceder lo mismo si se tardara demasiado tiempo en procesar el polvo de metal duro y prensarlo, dado que éste también caduca y pierde sus propiedades con el paso del tiempo.

Todos los productos necesitan de un cierto mantenimiento, vigilancia y tiempo de gestión entre otras cosas, y cuanto más producto almacenado se tenga, más aumentaremos estos factores y en consecuencia más coste de almacenamiento tendremos. Además, la presencia de stock en forma de productos obsoletos puede hacer también descuadrar los balances y hacer que la empresa no tenga una idea clara de las cantidades que se manejan realmente, por lo que como se puede deducir siempre interesará tener la menor cantidad de stock posible.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Presencia de procesos con capacidad reducida.** Es decir, se tiene una línea de producción de muy baja capacidad que no es capaz de satisfacer las exigencias del cliente, y para estar cubiertos frente a posibles pedidos producen más de lo que necesitan, generando excesos de stock.
- **Existencia de cuellos de botella.** Implica la presencia de uno o varios procesos que van a una velocidad de producción más baja que el resto de la línea, hecho que hace que se genere inventario a la entrada de dicho proceso.

- **Tiempos muertos o de preparación de la máquina muy elevados.** Al tardar tanto en preparar la máquina para la orden de fabricación y empezar a fabricar el producto, se puede acumular inventario generando un exceso de stock.
- **Perspectivas de ventas muy ambiciosas y sobreproducción.** Una planificación errónea de la previsión de ventas puede llevar a la empresa a producir de más.
- **Re-works por culpa de defectos de calidad del producto.** Son piezas que por un motivo concreto tienen algún defecto y son devueltas a una o varias máquinas para procesarlas nuevamente, generando una cola extra de productos que están a la espera de pasar por el proceso.

## Transporte

El desperdicio en transporte consiste en la **pérdida de recursos** (tiempo, energía...) **debido al transporte innecesario de materiales o productos de un lugar a otro** (almacén a máquina, máquina a otra máquina...). Una manera de evitar este desperdicio sería por ejemplo optimizando la disposición entre las máquinas para que así el material fluyera de forma continua y no tuviera que perder tiempo transportándose. Juntando las máquinas entre sí, y colocándolas una después de la otra lograríamos que el flujo de material fuera más directo, sin parones ni tiempos de transporte innecesarios entre máquinas. El movimiento y manipulación de stocks de un lugar a otro aumenta la probabilidad de que sufran daños, por lo que de forma general siempre interesará que este transporte intermedio entre máquinas sea lo más pequeño posible.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Mala disposición del *layout* de la línea de producción,** sin tener en cuenta el proceso productivo y el orden que siguen las operaciones del producto. Provoca que tanto los materiales como las personas se tengan que desplazar de un lado a otro de la planta productiva, perdiendo tiempo en el viaje. Se tiene que intentar estructurar la planta productiva en células de familias de productos, produciendo pieza a pieza, fenómeno que se conoce como ***One Piece Flow***.

- **Lejanía entre los proveedores de material y la planta de producción.** Esto puede provocar que el tiempo de transporte entre ambas sea muy elevado, haciendo que el *Lead Time* aumente todavía más. Se tiene que tratar de buscar proveedores que estén lo más cerca posible, de forma que el transporte de materia prima no suponga un porcentaje elevado respecto al tiempo global del proceso productivo.

## Tiempo

Son básicamente los tiempos perdidos o muertos que resultan de una secuencia de trabajo no optimizada o ineficiente, que lo que hace es provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Una manera de evitarlo sería llevar a cabo un estudio exhaustivo de cada actividad que tiene lugar en la línea de producción o en cada máquina con el objetivo de estandarizar el proceso al máximo. De la misma manera que con los otros despilfarros, conviene siempre reducirlo al máximo.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Falta de procedimientos en los procesos.** Significa básicamente lo que acabamos de decir: los procesos que se llevan a cabo no han sido estudiados detalladamente y todavía no se tienen muy claros los procedimientos a seguir cuando producimos, como podría ser el orden de las operaciones, cuándo hacer una operación o no...etc.
- **Planta no equilibrada desde el punto de vista de capacidad de las máquinas.** Para ejemplificar esto, podríamos imaginar dos máquinas que trabajan en una línea de producción, la primera de las cuales trabaja de una forma muy lenta, y la segunda mucho más rápidamente. Podemos ver claro que recurrentemente la primera máquina estará trabajando mientras que la segunda que va a continuación está esperando a que ésta termine para poder seguir procesando la pieza. Este tiempo de espera que está la segunda máquina esperando a que la primera termine es un ejemplo de despilfarro de tiempo. Para evitar que nos encontremos en esta situación, tenemos que intentar repartir y colocar juntas aquellas máquinas que tengan capacidades de producción semejantes para reducir estos tiempos de espera entre ellas.

## Procesos

Es uno de los defectos más habituales en todas las líneas de producción y uno en los que el *Lean Manufacturing* pone más énfasis en eliminar. Consiste básicamente en la presencia de procesos u operaciones en una línea de producción que no aportan valor añadido al producto, y cuya presencia aumenta el coste de fabricación unitario, el tiempo de procesado y fabricación... Se corresponde con el ejemplo que se mostró al inicio del apartado, en el cual aparecían todas las operaciones que se le realizaban a un producto concreto, y se trataba de identificar y eliminar todas aquellas que no añadían valor al producto final y por las cuales el cliente no estaba dispuesto a pagar.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Estudio deficiente de la optimización y de los procesos necesarios del producto.** En este caso, lo que puede suceder tal y como se describió al inicio, es que toda la etapa productiva del proceso no esté optimizada del todo y haya procesos innecesarios (que no añaden valor al producto), como consecuencia de que no se haya estudiado a fondo cuáles son las operaciones imprescindibles para la fabricación del producto.

## Movimientos

El despilfarro por movimiento hace referencia básicamente al movimiento de las personas por su área de trabajo sin realizar ninguna actividad productiva, como por ejemplo podría ser para coger elementos que le son necesarios (herramientas, documentos, materiales...) o para realizar movimientos poco ergonómicos que podrían poner en peligro su salud laboral, como por ejemplo sería tener que colocar un bidón muy pesado de material en la máquina. En el primer caso, todo se podría solucionar acercando todos los útiles de trabajo al área de trabajo de la persona, para así evitar estos desplazamientos innecesarios. Para el segundo, lo ideal sería revisar aquellos procesos que no son ergonómicos para el trabajador y que pueden poner en peligro su salud y tratar de modificarlos de forma que ya no haya riesgo de accidente laboral, y además se pueda ahorrar tiempo invertido en este movimiento innecesario. La diferencia principal existente entre el transporte y el movimiento radica en que el primero hace generalmente referencia a materiales o productos, y su gestión tanto dentro como fuera de la planta, mientras que el movimiento se enfoca en las personas y su disposición y desplazamientos en su área de trabajo.



¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- Una **distribución deficiente de los recursos** o herramientas que necesita el operario para poder trabajar en máquina, es decir, que sus útiles de trabajo por ejemplo no estén ordenados y/o clasificados y cada vez que quiera utilizarlos pierda tiempo moviéndose por su puesto de trabajo buscándolos.

## Defectos

Con los defectos, podemos encontrarnos en 2 casos diferentes: **Reprocesos o piezas defectuosas**. Con los reprocesos se hace referencia a todas aquellas operaciones extra que tienen que realizarse nuevamente en un producto porque su acabado o forma final no ha sido el exigido por el cliente y ha de volver a pasar por una cierta parte de la línea de producción. Se trata de un producto, por tanto, que no es considerado una pieza defectuosa, dado que aún se puede arreglar y ajustarlo a los valores exigidos, pero que justamente necesita de nuevo volver a pasar por una serie de procesos que ralentizan su venta al público, y que son considerados como otro tipo de despilfarro. Las piezas defectuosas (también conocidas como “*scrap*”), se diferencian de los reprocesos en que la pieza en este caso ya no sirve, y tiene que ser descartada directamente sin posibilidad de reaprovecharla para poder ponerla dentro de tolerancias. El *lean manufacturing* hace mucho hincapié en producir bien a la primera, es decir, obtener las piezas con los requisitos exigidos por cliente tras el que debería ser su primer y único paso por la línea de producción. Haciendo las piezas bien directamente, la empresa se ahorra el tiempo de tener que procesarlas otra vez en caso de que sea un reproceso y se ahorraría material también evitando malgastarlo en piezas que acaban siendo *scrap*.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Fallos humanos**. Las personas no son robots, y al final no pueden estar todo el día trabajando al 100% de su capacidad de concentración. En sus momentos de mayor distracción es cuando pueden llegar y cometer estos fallos.
- **Poca formación o baja experiencia de los operarios**. Aquí sucede como en todos los ámbitos de la vida; si colocamos a alguien que tiene muy poca o nula experiencia en un proceso concreto, pues lo más lógico a pesar de la formación que haya podido recibir, es que se equivoque al principio, haciendo lógicamente que se produzcan piezas de *scrap* y para reprocesar.

- **Empleo de las operaciones o técnicas erróneas.** Podría darse el caso de que estemos realizando una o varias operaciones, que desde el punto de vista técnico no sea la más indicada para lo que queremos obtener, y como consecuencia tengamos eventualmente fallos o defectos en las piezas.
- **Maquinaria no adecuada.** De la misma manera que puede darse el caso de que estemos empleando las técnicas u operaciones erróneas, puede suceder lo mismo con las máquinas, dado que generalmente, aunque tienen un cierto rango de versatilidad, suelen estar más indicadas para realizar un tipo de operaciones concretas y no otras.

### **Desaprovechamiento del talento o creatividad de los empleados**

Éste es aquel desperdicio del que se hablaba al comienzo del capítulo que en algunos casos se consideraba como tal y en otros no. Tal y como su nombre indica, consiste en desaprovechar o no fomentar el talento natural que presentan algunos trabajadores, colocándolos en puestos de trabajo para los cuales están sobradamente capacitados. Se puede considerar un despilfarro porque si dicha persona que está capacitada estuviera en un puesto superior que se ajustara a sus facultades y dotes, podría ser mucho más beneficioso para la empresa de lo que lo es actualmente.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Mala relación entre altos cargos y dicho empleado.** Una mala relación entre los dirigentes y el empleado puede ocasionar que no se le den oportunidades de ascender, y que por tanto se desaproveche su talento.
- **Conformismo del empleado.** Una actitud poco ambiciosa por mejorar y escalar posiciones en la empresa puede acabar por hacer que el empleado ampliamente formado y válido acabe quedándose estancado en un puesto sin querer subir más allá de su posición actual, ya sea por conformismo, resignación o rechazo de responsabilidades mayores.
- **Mala gestión del perfil del empleado.** Podría darse el caso de que la empresa y los encargados de haber traído al trabajador a la empresa no hayan conseguido sacar a la luz todas sus virtudes y éstas sean desconocidas para la empresa, de forma que se considere al empleado como una persona menos capacitada de lo que realmente está.

## Sobreproducción

Éste es sin duda alguna **el despilfarro más importante de todos**, dado que además de ser uno de los 7+1 despilfarros es también una de las **causas que originan el resto de ellos**, motivo por el cual se ha decidido dejarlo como el último de todos. La sobreproducción, como su nombre indica, consiste en producir más piezas o más cantidad de producto del demandado, de forma que se lleva a cabo un desperdicio de recursos total: de material, de tiempo, de energía... Ocurre por fabricar más cantidad de la necesaria, pero también puede ser por diseñar o comprar equipos con demasiada capacidad.

Un ejemplo del primer despilfarro que genera la sobreproducción es el inventario. Al producir más piezas de las necesarias, tendremos también un stock más grande del previsto, generando un exceso de inventario, que se corresponde con el primer tipo de despilfarro descrito. Otro desperdicio que genera es los defectos o piezas en reproceso: al tener más piezas, es más probable que tengamos más fallos de scrap o de piezas a reprocesar porque no han acabado dentro de las medidas exigidas. También es lógico pensar que la sobreproducción nos producirá también un aumento de los tiempos de espera (que son otro de los despilfarros mencionados anteriormente), dado que como tendremos más piezas de las inicialmente calculadas, tardarán más en procesarse todas por cada una de las operaciones, generándose una cola a la entrada de cada una de ellas que equivaldrá a este tiempo de espera. Y así sucesivamente podríamos ir deduciendo cómo la sobreproducción actúa sobre cada uno de los otros despilfarros. Lo que está claro es que la sobreproducción es el despilfarro más importante de todos porque puede afectar a todo el resto, y que por tanto se antoja vital para las empresas tratar de acabar con él.

¿Cuáles son las posibles causas que pueden generar este despilfarro?

- **Procesos poco fiables.** Se produce en masa debido al miedo de que alguno de los procesos pueda fallar y tener que cortar la línea de producción.
- **Tiempos perdidos en cambio de máquina y de preparación.** Se produce el máximo de piezas posibles aprovechando que ya se ha realizado el cambio de máquina o la preparación de ésta, la cual es muy larga y costosa. Se produce más de lo exigido para así no tener que hacer más cambios de máquina o preparaciones más adelante.

- **Respuesta a las previsiones, no a las demandas.** Se produce en masa teniendo en cuenta las previsiones que la empresa ha realizado, sin tener en cuenta la demanda de los clientes. Puede darse el caso de que los clientes demanden poco y las previsiones sean muy altas, y como la empresa fabrica sin tener en cuenta la demanda real pues generaría sobreproducción.
- **Falta de comunicación.** Ya sea entre operarios de máquinas contiguas, entre departamentos, entre jefe y trabajadores o entre el departamento de ventas y el de producción. Si falla la comunicación entre cualquiera de estos grupos que hemos mencionado, puede haber desacuerdos sobre el número de piezas a producir y generarse sobreproducción en áreas en las que se calculaba tener un número de productos más reducido al previsto o al demandado.

Ahora que se han visto todos los posibles tipos de despilfarros que el *Lean Manufacturing* trata de combatir y eliminar durante su proceso productivo, ya se puede pasar a hablar de los **principios básicos** en los que se basa esta filosofía. Tal y como se podrá comprobar, comparte varios de los principios que proponía el *Toyota Production System*, pero con algunas ligeras variaciones e incorporaciones de nuevos conceptos en su metodología de los que no se había hablado hasta ahora:

- **Producir bien a la primera:** lo que equivale a decir que se quieren obtener cero defectos en la producción. Esto ha de conseguirse mediante la detección de los problemas y su solución mediante la búsqueda de sus causas originarias. Equivaldría al principio de la calidad total que enunciaba Toyota, pero con el objetivo claro de que se buscan los cero defectos, y no sólo reducirlos.
- **Producción según la filosofía *Just In Time*:** ya se había comentado en el apartado anterior su fundamento: significa producir lo que necesita el cliente, justo cuando lo necesita y en la cantidad que éste requiere. Sus principios se basan en: 1) Eliminar todo tipo de despilfarro, es decir, todo aquello que no aumente la utilidad del producto para el cliente, 2) reducir el nivel de stock, puesto que éste esconde los problemas que alberga la empresa y únicamente pueden salir a la luz si es eliminado, y por último que 3) la eliminación del stock implicará reducir los plazos de realización de las operaciones.
- **Concepto de mejora continua:** consiste en no estar nunca conforme con el sistema existente y pensar siempre que todo es susceptible de ser mejorado y

que nada es lo suficientemente bueno. Dicho de otra manera, podríamos decir que es una mentalidad que se basa en una búsqueda continua de la excelencia en el sistema productivo y que nunca se conforma con el actual. Lo que se busca es poder garantizar la calidad del producto o servicio, tratando continuamente de aumentar la productividad y reducir los costes.

- **Procesos *pull*:** Para poder entender correctamente lo que es un proceso *pull*, explicaremos previamente también los procesos *push*, y las diferencias existentes entre ambos sistemas productivos: Generalmente los sistemas productivos *push* están asociados a la producción en masa, donde la planificación se hace de forma centralizada. Suele basarse en previsiones de demanda, producción estimada o eficiencia de instalaciones. Los sistemas productivos *pull*, se diferencian de éstos en que es el pedido del cliente el que estira todo el proceso, y cada etapa del proceso productivo estira del anterior. Dicho de otra manera, es el cliente el que determina la producción, de forma que las cantidades producidas se fabrican en respuesta a la demanda, para así evitar la sobreproducción típica de los sistemas *push*. En cada etapa del proceso productivo *pull*, se fabrica únicamente lo que le pide el proceso anterior y en el momento en que éste lo solicita.
- **Flujo pieza a pieza (*One Piece Flow*):** consiste en conseguir un inventario que sea 0 entre máquinas/operaciones, de forma que todo el rato las piezas que pasen por la línea de producción estén siempre en movimiento. Para conseguir esto es necesario que los tiempos que tarda cada una de las máquinas en procesar una pieza (tiempos de ciclo) sean iguales o inferiores al **Takt Time**. El **Takt Time** se calcula como la división entre el tiempo total neto disponible en un período de tiempo, partido por la demanda del cliente (que es el número de piezas que requiere de media un cliente por período de tiempo); y este parámetro cuyas unidades generalmente son minutos/pieza, indica la velocidad máxima a la que ha de ir cada una de las máquinas que conforman la línea de producción para que se puedan satisfacer las necesidades del cliente entregando todas las piezas en el tiempo requerido. La ventaja principal de producir en *One Piece Flow* está clara, y es que no existe inventario intermedio entre máquinas y operaciones y que por tanto evitamos, aparte del exceso de inventario, la sobreproducción, que recordemos, era el despilfarro más importante de todos. Sin embargo, tiene otras ventajas adjuntas, y es que,

necesariamente para poder poner todas las máquinas a trabajar a tiempos de ciclo (iguales o inferiores al *Takt Time*) iguales o lo más parecidas entre sí, lo que se consigue también es nivelar la carga de trabajo y que por tanto estemos reduciendo tiempo de espera de alguna máquina (que es otro despilfarro más).

- **Nivelar la carga (*Heijunka*):** es el nivelado de la producción tanto por volumen como por mezcla de productos. Es simplemente tener flexibilidad y capacidad para poder fabricar variedad de códigos de productos diferentes y en cantidades diferentes a petición del cliente. Tradicionalmente se ha pensado siempre que es mejor producir primero una cierta gama de productos, después otra y después la siguiente, y así sucesivamente, para poder ahorrar tiempos en la preparación de las máquinas. Lo que sucede es que produciendo de esta manera la empresa no es capaz de reaccionar a posibles cambios que puedan producirse en la demanda de los clientes, y que por tanto sea incapaz de ser flexible en la producción.
- **Construcción y buena gestión de la colaboración con proveedores,** llegando a acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.

Si se resumen un poco todos los principios en los que se ha visto que se fundamenta el *Lean Manufacturing*, se podría decir que se busca obtener los productos correctos exigidos por el cliente, en el momento y cantidad indicados, minimizando el desperdicio, siendo flexible y estando abierto a los cambios y a mejora continua.

Sin embargo, y después de haber visto todos los pilares en que se basa el *Lean*, ¿qué le diferencia exactamente del sistema productivo de Toyota? La respuesta puede ser muy amplia, y en el fondo hay mucha controversia con respecto a las diferencias reales entre una y otra metodología, pero desde mi punto de vista lo que distingue el *Lean Manufacturing* del *Toyota Production System* es el grado de implicación de la empresa y de sus componentes. El *Lean Manufacturing*, es mucho más que una metodología de reducción de costes, es más bien un cambio de mentalidad o una filosofía de trabajo, que necesita de la implicación de todos y cada uno de los miembros de la empresa para que pueda funcionar y tenga sentido. Una empresa no puede ser *Lean* si los presidentes o máximos mandatarios de ella no dan soporte a la empresa y no están dispuestos a hacer la conversión, de la misma manera que tampoco podría serlo si los operarios tampoco estuvieran dispuestos a ello.

La mayoría de las empresas hoy en día se consideran como empresas *Lean* porque

conocen alguna de sus herramientas y las aplican en su día a día, pero eso no es ser *Lean*, dado que la conversión *Lean* de la empresa necesita de una conversión más profunda a todos sus niveles, y necesita del cuestionamiento constante de las cosas que se pueden mejorar en cada momento (concepto de mejora continua). Esta mentalidad de cambio y mejora constante en la que todo el mundo pueda participar de forma activa y presentar propuestas de mejora es lo que, desde un punto de vista externo, diferencia el *Lean Manufacturing* del TPS, más allá de pequeñas diferencias existentes en algunos conceptos, dado que cabe recordar que el TPS fue concebido como una metodología para poder reducir costes y así competir con las grandes empresas norteamericanas.

### 4.3. Herramientas Lean existentes

En este apartado lo que se expondrá son las principales herramientas que existen a día de hoy para poder aplicar el sistema del *Lean Manufacturing*. Sin embargo, tal y como se ha dicho anteriormente, el *Lean* es mucho más que una metodología de reducción de costes, sino que más bien destaca por ser una filosofía de trabajo y de mejora que ha de implantarse a nivel de todos los estamentos de la empresa. Se quiere hacer hincapié en esto, porque a día de hoy muchas empresas se autodenominan “empresas *Lean*” simplemente por saber aplicar herramientas como las que enumeraremos a continuación, por lo que es importante saber que por el mero hecho de aplicarlas no “se está haciendo *Lean*”.

Como hasta ahora ya se ha explicado en qué consiste la filosofía del *Lean Manufacturing*, y sus conceptos y fundamentos, es ahora el momento propicio para pasar a hablar de sus herramientas. Lo que se hará a continuación, es explicar algunas de las herramientas *Lean* más importantes a día de hoy, para así ver en qué aspectos de mejora se centran y poder elegir las que más convengan para el objeto de estudio que se ha decidido.

#### ***Kanban***

**¿Qué es?:** *Kanban* es un método visual que sirve básicamente para controlar la producción. Es un sistema de señales, que pueden ser tarjetas, envases..., que se va utilizando a través de la cadena de producción, desde la demanda del cliente hasta las materias primas. Controla lo que se produce, en qué cantidad y cuándo.



**Objetivo:** Su propósito es asegurar que sólo se produce lo que el cliente está pidiendo y no más, entendiendo como cliente, el proceso que se encuentra en la siguiente etapa del proceso de producción. En el caso del cliente del último proceso, sí que se tratará del cliente real.

**Características:** Está íntimamente ligado con la obtención de los procesos *pull*, en los que era el cliente el que tiraba de la línea de producción. Además, cuando se implementa un sistema *kanban* se tiene que estar seguro de cumplir con una serie de reglas para asegurar su funcionamiento:

- El proceso posterior recoge el producto del proceso anterior.
- El proceso posterior informa al proceso anterior sobre qué producir.
- El proceso anterior sólo produce lo que el proceso posterior necesita (filosofía *pull*).
- Ningún producto se mueve o produce sin la autorización de *Kanban*.
- No se transfieren defectos al proceso posterior.

## Gestión visual

**¿Qué es?:** Es una herramienta que ayuda con la estandarización de procesos y diversas políticas, mediante el uso de diferentes medios de comunicación atractivos a la vista y simples de entender. Entre estas formas para comunicar la información se pueden destacar principalmente las pantallas (ordenador, televisión) implantadas en la empresa o por ejemplo hojas de papel de grandes dimensiones como un DIN-A2 o DIN-A3.

**Objetivo:** Su objetivo básico es comunicar una cierta información a una sección concreta de la empresa de forma que ésta esté accesible para ellos en todo momento. Al tener la información expuesta de una forma tan clara, la gestión visual permite ayudar también a las empresas a llevar un seguimiento de la producción (diaria, semanal, mensual...) y poder identificar de forma clara los fallos para así poder corregirlos a tiempo.

**Características:** En la actualidad, es una de las mejores maneras que tienen las empresas de mantener enterados a un número elevado de trabajadores acerca de un



determinado tema, evitando la consulta a otras personas o manuales. Además, su implementación por medio de imágenes claras e indicaciones precisas permite evitar re-trabajos, desperdicios, e incluso acelerar el proceso de aprendizaje y los tiempos de operación.

Es muy importante en la gestión visual identificar una ubicación adecuada, dado que sino la información podría no llegar a todos los destinatarios que se quiere; y también, definir con mucha precisión qué información queremos que aparezca junto con su métrica. Entre esta información básica que se tiene que dar a conocer destaca:

- Indicadores de resultados
- Tablas comparativas de productividad y calidad.
- Resultados, semanales, diarios y mensuales
- Objetivos estandarizados por cada una de las áreas, y los generales.
- Acciones preventivas y correctivas, informando de la fecha en que está previsto que se realicen, o si ya se han realizado, indicando cuándo se implantaron dichas acciones, junto con los responsables de llevarlas a cabo.
- Señalamientos de ubicación (como por ejemplo el layout que sigue esa área concreta en la que se está implementando la gestión visual)
- Avisos o alertas, para que la empresa pueda reaccionar en caso de algún fallo o deficiencia en la seguridad, producción, calidad, tiempo de entrega...

### ***Gemba Walk***

**¿Qué es?:** Es un concepto proveniente del japonés que lo que significa textualmente es “el verdadero lugar”, y que viene a decir básicamente que se tiene que pasar menos tiempo en la oficina y más tiempo en la fábrica, que es donde realmente ocurren los problemas y donde será más fácil entenderlos.

**Objetivo:** El objetivo básico del *Gemba* es permitir a un trabajador que no trabaje habitualmente en planta entender los motivos o causas que generan una determinada acción por medio de la observación de los procesos en la propia fábrica. La filosofía del *Gemba* promueve que este trabajador baje cada día a la propia planta o fábrica para que así pueda ver los problemas diarios que acontecen y entienda realmente cómo funcionan los procesos que se llevan a cabo.

**Características:** Lógicamente, lo que fomenta el *Gemba Walk* aparte de bajar a planta a observar los procesos, es hablar con los operarios, para así conocer de primera mano sus impresiones y consejos sobre dichos procesos, dado que al final son ellos los que mejor los conocen porque están cada día allí trabajando. El *Gemba Walk* está concebido para ser una herramienta de comunicación entre los operarios y los supervisores o *mánagers* de producción que les permita informar de los problemas acontecidos, y que permita también a los supervisores entender mejor todos los procesos.

### ***Kaizen***

**¿Qué es?:** *Kaizen* es un término japonés que se traduce como mejora continua, dado que proviene de la unión de dos palabras japonesas: KAI (cambio) y ZEN (mejorar). La idea principal es la resolución de problemas mediante medidas correctoras con el objetivo de mejorar el sistema productivo.

**Objetivo:** La realización de los *kaizen* o *kaizen event* suelen ser para conseguir lograr uno de los objetivos que se enumeran a continuación:

- Mejorar la satisfacción del cliente (con disminución de las No Conformidades de clientes).
- Optimización de la gestión de la empresa.
- Incrementar en el rendimiento de equipos humanos.
- Aumentar el nivel de calidad

**Características:** Los *kaizen event* suelen ser eventos de entre 2 y 5 días de duración, dependiendo del grado de mejora y los objetivos que se pretendan alcanzar, en que un equipo liderado por una persona se reúne para tratar de mejorar algunos aspectos concretos de un área o zona de la empresa. Los equipos de trabajo, generalmente suelen estar formados por el supervisor y expertos de la sección, el equipo de Lean o de mejora continua de la empresa (si es que lo hay), y algunos operarios del área, además de personas adicionales de otros departamentos si se considera que pueden aportar algo. En estos eventos, se plantean unos ciertos objetivos, y se planean, ejecutan y comprueban todas las acciones destinadas a cumplirlos. Se considera de

vital importancia terminar todas las acciones dentro del kaizen, dado que de lo contrario son acciones que quedan pendientes y que con el paso del tiempo pueden dejar de realizarse sin permitir a la empresa alcanzar los objetivos que se habían planteado inicialmente.

### **Standard Work**

**¿Qué es?:** La estandarización de trabajos o *standard work* consiste en definir una metodología a seguir para realizar los diferentes trabajos con las mejores prácticas y conseguir que todo el personal trabaje siguiendo esta metodología.

**Objetivo:** Optimizar al máximo la secuencia de los pasos que se realizan cuando se está utilizando una máquina o grupo de máquinas de forma que todo el mundo pueda trabajar de la misma manera.

**Características:** Lo que se hace primero generalmente es observar todos y cada uno de los pasos que se siguen al realizar la operación, y tomar tiempos de cada uno de estos pasos. Una vez se han tomado tiempos y se han observado todos los pasos, se calcula el tiempo total invertido y se revisa y propone una nueva estructura más óptima y eficiente para reordenar estas sub-operaciones, con el objetivo de que todo el mundo siga desde ese momento siga esa nueva estructura propuesta y se puedan reducir los tiempos de operación.

## **5S**

**¿Qué es?:** Es una de las herramientas más conocidas del *Lean Manufacturing* y consiste en clasificar, ordenar y limpiar todos los útiles y herramientas de trabajo que se utilizan en una máquina o sección concreta de la empresa.

**Objetivo:** Mediante el orden y limpieza de todas las herramientas a utilizar, el operario consigue reducir significativamente el tiempo de búsqueda de estos útiles, además de permitirle siempre tener controlado el estado y ubicación de las herramientas.

**Características:** Generalmente se eligen aquellas herramientas necesarias para el

desarrollo de la actividad u operación concreta que se está llevando a cabo, se limpian y se reordena su disposición en los cajones o estanterías en que estén ubicados, de forma que sean más visuales para el operario y estén también más accesibles.

### **Single Minute Exchange Of Die (SMED)**

**¿Qué es?:** Es una técnica empleada para reducir los tiempos de cambio de utillaje en máquinas y herramientas.

**Objetivo:** Reducir al máximo los tiempos de cambio de los útiles necesarios para que una máquina pueda ponerse a trabajar en serie lo antes posible.

**Características:** se trata de una metodología que mediante un análisis exhaustivo de todos los pasos que se llevan a cabo durante el proceso de cambio de utillaje permite seleccionar aquellas suboperaciones o pasos que se pueden externalizar, es decir, que se pueden hacer una vez la máquina está trabajando en ciclo, para así conseguir reducir el tiempo de preparación de ésta (que es tiempo en que la máquina está parada y no trabaja).

Existen una multitud de herramientas Lean más, pero aquí se han enumerado algunas de las que se consideran más importantes. Algunas de ellas son muy populares y conocidas en el mundo de la mejora continua, pero hay también otras menos conocidas que se han decidido explicar porque son con las que más contacto se ha experimentado en la empresa.

Ahora que por fin se tienen claros el concepto y fundamentos del *Lean Manufacturing*, y que se han visto las herramientas que se tienen al alcance a día de hoy, llega el momento de elegir cuáles de ellas son las más indicadas para el proyecto que se quiere llevar a cabo. Cabe recordar que el objetivo principal consiste en reducir los tiempos de preparación de una prensa, por lo que se deberán seleccionar aquellas herramientas que estén destinadas a ello: Tanto el **Kanban** como la Gestión visual está claro que en este caso no serán de interés, dado que se trata de herramientas visuales que están destinadas a llevar el control de la producción. En el caso del Kanban lo que se intenta es regular la sobreproducción, para evitar producir de más, o también en otros casos para evitar la ruptura de stock, pero en el caso de este proyecto lo que se quiere controlar no son niveles de producción, sino tiempos, por lo que esta opción quedará

descartada. Si se pone atención ahora en la **Gestión visual**, se puede recordar que fue creada con el objetivo de comunicar una cierta información relacionada con el nivel de producción o de output a un grupo de personas de forma muy directa y sencilla, por lo que tampoco será de interés para reducir los tiempos de preparación.

El caso del **Gemba Walk** no se trata de una herramienta en sí, sino que como ya se comentó antes es más una filosofía de trabajo, consistente en pasar más tiempo observando los problemas en el taller y menos tiempo en oficina. Al no ser propiamente una herramienta, no se puede decir que se vaya a aplicar en este proyecto, pero sí que se puede decir que se hará uso de su filosofía. Al fin y al cabo, para poder reducir los tiempos de preparación habrá que tener antes claros todos los pasos que se siguen en las preparaciones, y para ello será necesario pasar muchas horas en taller mirando preparaciones y hablando con los operarios y expertos de la prensa, por lo que se puede considerar como acciones a llevar a cabo que cuadran dentro de la filosofía del Gemba.

Si se pone atención ahora en el **Standard Work**, inicialmente se podría pensar que sería una buena herramienta para llevar a cabo la reducción de los tiempos de preparación. El problema que hay es que el *Standard Work* está concebido como una técnica para estandarizar los pasos a seguir cuando la máquina está ya en funcionamiento, mientras que lo que requiere este proyecto es reducir los tiempos de preparación de máquina, que es el intervalo de tiempo en que se cambian los utillajes de máquina para preparar el siguiente pedido (y en el cual la máquina está parada sin trabajar). Es decir, el *Standard Work* podría ser útil si se quisieran reducir los tiempos que se tarda en procesar la pieza en una máquina o grupo de máquinas concreto desde que se empieza a mecanizar hasta que pasa a la siguiente o siguientes máquinas, pero como lo que se estudiará es el tiempo de preparación, no será una herramienta válida para este estudio.

En el caso del **SMED**, se puede observar que es una herramienta que se acopla perfectamente con lo que se desea realizar, dado que permite reducir los tiempos de cambio de utillajes de máquinas y herramientas. Ésta será por tanto, la herramienta que se utilizará para el estudio (sin tener en cuenta el *Gemba* que no se considerará como una herramienta en sí).

#### 4.4. SMED

Ahora que por fin se tienen claras las herramientas que se van a utilizar para reducir los

tiempos de preparación de la prensa, se explicarán con un poco más de nivel de detalle. La idea de este apartado es explicar ambas herramientas a nivel teórico, para así poder entender tanto su concepto como la manera de proceder cuando se apliquen de forma práctica.

## SMED

Para poder empezar a hablar del SMED y ampliar todo el contenido explicado en el apartado anterior sobre esta herramienta, es necesario tener antes claros los siguientes conceptos:

- Tiempo de cambio o de preparación: es el tiempo que pasa desde que se fabrica la última pieza del lote del producto anterior hasta obtener la primera pieza buena del producto nuevo. Es lógico pensar, por tanto, que durante este tiempo la máquina está parada sin producir.
- Preparación: operaciones necesarias para el cambio de referencia. Toda preparación se considera como un desperdicio o despilfarro, ya que no aporta valor para el cliente.
- Preparación interna: son todo el conjunto de operaciones contenidas en la preparación que sólo pueden realizarse con la máquina parada.
- Preparación externa: son el resto de operaciones de la preparación que se pueden realizar con la máquina en marcha.

Dicho esto, el SMED es una herramienta de la mejora continua que de forma metodológica busca reducir el tiempo de cambio de referencia en máquinas de entornos productivos. Es decir, es una técnica que se centra en tratar de disminuir los tiempos de cambio de utillaje para dejar de producir una determinada referencia o producto y empezar a producir otra diferente que requiera otros utillajes. El término SMED es el acrónimo en lengua inglesa de Single Minute Exchange Of Die, que en español significa "*cambio de matriz en menos de 10 minutos*". Lógicamente no en todos los casos se consigue reducir los tiempos de preparación a menos de 10 minutos, pero este nombre tiene su origen en el Doctor Shigeo Shingo, que junto a Taiichi Ohno consiguió reducir el tiempo de preparación de unas prensas de estampación de 1000 toneladas que tenían en Toyota de 4 horas a menos de 5 minutos.

El SMED nació de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes que pasaban por las

prensas de estampación, optimizando para ello el tiempo de cambio empleado en pasar de una matriz a otra. Lo que sucedía, era que al tener unos tiempos de preparación tan elevados se intentaba aprovechar para realizar el máximo número posible de órdenes de fabricación de esa misma referencia y así minimizar el número de preparaciones a realizar. El problema de esto es que se generaron unos lotes muy grandes, debido a que los tiempos de preparación eran de muchas horas y esto suponía unos problemas muy grandes de almacenamiento, pero también de flexibilidad frente a la demanda, que recordemos era uno de los puntos más importantes en la filosofía del *Toyota Production System* y del *Lean Manufacturing*. Al tener unos tamaños de lote tan grandes, se invertía mucho tiempo en producirlos, y no se podía hacer frente a las exigencias y variaciones del mercado.

Cabe destacar que hoy en día el SMED se aplica a las preparaciones de toda clase de máquinas, no solo a prensas, aunque en este caso se da la casualidad de que se aplicará también a una prensa con unos tiempos de preparación también del mismo orden de los que tenían en Toyota.

La herramienta del SMED consta de varias fases:

## **1) OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN**

Es la primera de las etapas del método, y se antoja fundamental para el éxito del análisis posterior. Consiste en observar y analizar exhaustivamente todo el proceso de preparación de la máquina en cuestión, y empezar a tomar tiempos de cada uno de los pasos que se siguen. Se puede descomponer a su vez en 2 fases:

### **1.1) Investigación**

En esta sub-fase se centran todos los esfuerzos en conocer lo máximo posible el producto, las operaciones que se realizan, los utillajes y la máquina. Mediante un análisis a fondo de estos parámetros, se debería ser capaz de lograr saber a partir de un cierto producto dado, qué operaciones y utillajes serán necesarios incluir en la preparación. Al final de esta sub-fase se tendría que saber justificar y anticipar el uso de todos y cada uno de los utillajes en la preparación, así como de las operaciones a realizar. Lo que se viene a decir con esto es que no hay que conformarse con simplemente conocer las operaciones que se realizan, sino que se ha de entender el por qué se realizan. En algunos casos puede ser muy evidente, pero puede haber otros en que suceda todo lo contrario, e incluso

podrían llegar a darse casos en que no se sepa por qué se realiza una cierta operación, sino que se deba solo al hábito y no a la necesidad. Para ello es recomendable asistir al máximo número de preparaciones posibles, pero sin tomar tiempos de operación, sólo discerniendo y apuntando las operaciones que se realizan, para así ir familiarizándose poco a poco con el proceso.

También es importante conocer la distribución en planta de la máquina (lo que conocemos como *layout*): saber cuántos operarios trabajan en esa máquina, dónde están ubicados los utillajes y herramientas y las condiciones en que se encuentran, la forma de la que se meten y sacan de máquina... dado que son otras fuentes de información diferente que es interesante conocer para poder localizar otros puntos donde aplicar las mejoras. La mayoría de veces se pueden ver todas estas cosas directamente en la planta, pero en caso de dudas lo mejor es comentarlo con operarios o expertos de la zona que puedan asegurar al 100% la respuesta.

## **1.2) Medición**

Como su nombre indica, consiste en empezar a tomar tiempos de las preparaciones una vez estas han sido desglosadas y entendidas perfectamente. En esta sub-etapa se tiene que preparar una plantilla para la toma de datos de los tiempos, la cual es necesario que sea práctica y muy visual, dado que se tendrán que apuntar y medir los tiempos de forma simultánea a la observación de la preparación. Lo que se hará es tomar tiempos de cada una de las operaciones en que ha sido desglosada la preparación, hasta acabar teniendo un número significativamente elevado como para poder calcular un promedio real de tiempo de cada operación.

Además de lo mencionado en las 2 sub-fases anteriores, también se suele hacer uso de cámaras de video que permitan grabar las preparaciones, ya sea para entenderlas mejor o para después cronometrar los tiempos de cada operación sobre la grabación, y también del manual de instrucciones o ficha técnica de la máquina, que es el documento donde teóricamente se explica por qué se realiza cada operación de la preparación.

Para terminar y concluir con la fase de observación y medición, cabe destacar también que suele ser recomendable al inicio del proyecto del SMED formar un pequeño equipo de trabajo. Este equipo ha de contener como mínimo un miembro que esté formado en la técnica del SMED, alguno con experiencia en las preparaciones, y por último algunos



miembros que tengan el peso suficiente en la empresa como para poder dar luz verde a cambios técnicos y organizativos. La misión de este equipo ha de ser la de dar soporte a la persona que se encargue de liderar el SMED con las dudas que le puedan surgir, y ayudarle a la hora de proponer mejoras.

## **2) SEPARACIÓN DE SET-UP INTERNO Y SET-UP EXTERNO**

Esta segunda etapa es normalmente la más sencilla de todas las que conforman el SMED. Consiste básicamente en discernir de entre todas las operaciones que se llevan a cabo actualmente en la preparación, cuáles se realizan con la máquina parada y cuales con la máquina ya en marcha. De este modo, distinguiremos respectivamente entre operaciones que forman parte del set-up interno y las que forman parte del externo.

Hay que tener en cuenta que todas las operaciones que forman parte del set-up externo no afectan al tiempo total de ciclo de la máquina, dado que se pueden hacer de forma simultánea al funcionamiento de la máquina, mientras que en el caso de las del set-up interno, cuantas más operaciones haya y más tiempo se tarde en realizarlas más tardará la máquina en empezar a producir. De esta forma se puede ver claramente que siempre interesará que el máximo de operaciones del set-up sean externas en vez de internas.

## **3) CONVERSIÓN DE TAREAS INTERNAS A EXTERNAS**

Tras haber dividido y clasificado las operaciones anteriores de la preparación en externas e internas, lo que se buscará en esta fase es tratar de convertir el máximo de operaciones pertenecientes al set-up interno para que pasen a formar parte del externo, que es lo que interesará para que la máquina pueda empezar a producir lo antes posible. Para ello, lo que se tiene que hacer es coger todas las operaciones que son internas y preguntarse si se trata de operaciones que se pueden realizar con la máquina en funcionamiento, o si ésta ha de estar necesariamente parada. A la hora de realizarse esta pregunta, el líder del SMED junto con el resto de su equipo ha de estar pensando en posibles modificaciones técnicas, modificaciones de los métodos

de trabajo, redistribuciones o cambios en el orden de las operaciones o sincronización de tareas, es decir, ha de tener la mente abierta y pensar en ideas que puedan permitir pasar operaciones que hasta ahora se tenían que hacer con la máquina en funcionamiento a hacerlas con máquina parada.

Puede haber casos en que se descubra que alguna operación interna no sólo se puede externalizar, sino que incluso puede eliminarse de las operaciones, ya sea porque es redundante o ya se ha hecho antes, o porque no es necesario hacerla y sólo se hacía por costumbre sin tener en cuenta su necesidad.

#### 4) OPTIMIZACIÓN

Ésta es probablemente la etapa más imaginativa de todo el SMED. Una vez se han reestructurado todas aquellas operaciones que eran internas y han pasado a ser externas, ha de pensarse ahora la forma de reducir primero los tiempos de preparación internos, y después, los externos. En esta fase el que se designó al principio del proyecto como líder del SMED ha de reunirse ahora con su equipo para buscar y proponer posibles ideas y soluciones para poder reducir los tiempos. Entre las ideas en las que se ha de pensar para simplificar las operaciones y reducir sus tiempos, aquí se pueden distinguir algunas:

- **Aproximar lo máximo posible los utillajes a montar hacia la máquina**, ya sean herramientas, material de montaje o desmontaje, el material de control de cotas y calidad... No tiene sentido que se tengan los utillajes muy lejos de máquina, dado que muchas veces se podría tardar más en ir a buscarlos y dejarlos después que en utilizarlos propiamente.
- **Ordenar el material de forma práctica en función de su peso, altura y de la frecuencia de uso**. Lógicamente el ordenar y clasificar el utillaje de forma que sea más fácil localizarlo siempre ayudará con la reducción de los tiempos de preparación. Muchas veces sucede que se pierde tiempo buscando una herramienta concreta porque no se sabe dónde está, y con una correcta ordenación del puesto de trabajo se podrían suprimir estos tiempos.
- **Eliminar los reglajes y ajustes hechos por tanteo**. Es una manera de evitar que se tengan que ir haciendo pruebas continuamente hasta encontrar el

posicionamiento adecuado para hacer las operaciones. Mediante la ayuda de apoyos, referencias o calas se puede ganar en rapidez y precisión.

- **Prever la posible sincronización de tareas.** Consistiría en tratar de realizar algunas de las operaciones de forma simultánea y pasar a trabajar en paralelo en vez de trabajar en serie.

## 5) IMPLANTACIÓN Y SEGUIMIENTO

La última fase consiste básicamente en implantar en máquina todas las acciones que se han llevado a cabo hasta ese momento, y después realizar un seguimiento durante un cierto período de tiempo para comprobar si los tiempos de preparación han mejorado en la medida deseada o si por el contrario ha de revisarse el trabajo realizado.

## 5. Aplicación a un caso

Tras haber explicado en el capítulo anterior toda la teoría referente al *Lean Manufacturing* y a las herramientas que se van a utilizar, llega ahora el momento de pasar a la parte práctica y aplicar todos los conocimientos adquiridos en un caso práctico. Lo que se hará en este capítulo básicamente es explicar el caso en que se aplicarán las herramientas de mejora: En primer lugar, se realizará una breve descripción de la empresa y de los productos comercializados; y después se hablará sobre el caso que se ha decidido estudiar y su justificación.

### 5.1. Funcionamiento y líneas de producción de la planta

Hyperion Materials & Technologies es el nombre de la empresa a la que pertenece la máquina sobre la que se aplicarán las herramientas de mejora SMED explicada anteriormente. Se trata de una empresa multinacional relativamente nueva, dado que se fundó a finales del año 2017 a raíz de una desvinculación de su empresa anterior Sandvik, y que se dedica a la producción y comercialización de una amplia gama de productos basados en el metal duro. El metal duro, consiste básicamente en una aleación de metales cuyo componente mayoritario generalmente es el carburo de tungsteno, y en el que se añaden otros elementos como el níquel o el hierro, en función de las propiedades que se quieran obtener para el producto finalmente acabado: material más poroso, más denso, menos frágil... etc

Hyperion coordina y dirige todo el proceso de producción, desde la extracción y acondicionamiento de la materia prima, hasta que llega el momento de vender el producto finalmente acabado. Al ser una empresa multinacional, tiene numerosas sedes repartidas a lo largo de todo el mundo en lugares como EEUU, México, Suecia o Francia, en las que cada una de ellas se encarga de gestionar una fase concreta por la que tiene que pasar un grupo de productos. Cada una de estas sedes puede ser clasificada en función de varios criterios:

#### 1) En función del tipo de productos que fabrica y la familia a la que pertenece.

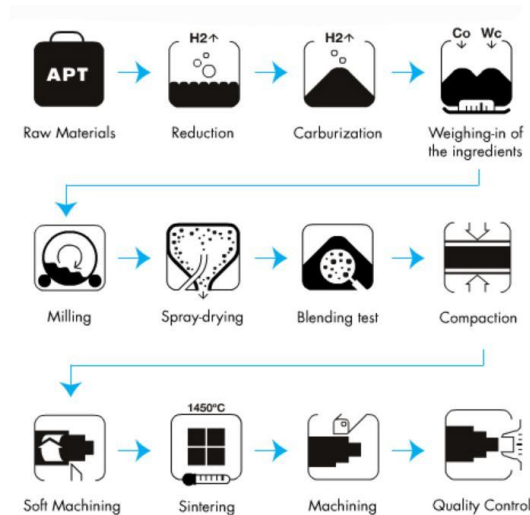
En Hyperion se fabrican productos muy diferentes entre sí, tanto por su forma y características, como después por el ámbito en que se aplicarán, el cual va desde la aviación hasta incluso la fabricación de herramientas para hacer las latas (que se denomina *Can Tooling* y que se verá más adelante). Sin embargo, a pesar de estas

diferencias, se pueden agrupar estos productos teniendo en cuenta su funcionalidad, y no tanto el ámbito en que se aplican. Se pueden agrupar en *Toolmaker components* y *Engineered components*. Los primeros son componentes que constituyen una de las partes críticas de herramientas de extracción, corte o conformado de materiales, mientras que la segunda familia son productos diseñados para aplicaciones especializadas enfocados a trabajar en condiciones críticas de desgaste y corrosión.

**2) En función del proceso que experimenta el producto.** Tal y como se ha mencionado antes, todos los productos que gestiona Hyperion pasan por diferentes fases, que al final se pueden agrupar principalmente en tres: 1) Obtención y acondicionamiento de la materia prima, 2) Producción y verificación del producto, y su posterior 3) Gestión y venta. De esta forma, hay algunas sedes que se encargan exclusivamente de la obtención del polvo metálico y los tratamientos necesarios para tenerlo con las características demandadas por el cliente, otras que se encargan de transformar este polvo en un producto finalmente acabado, y otras que se encargan únicamente de la gestión y venta a cliente.

La sede en la que se aplica el proyecto de mejora está ubicada en Barcelona, concretamente en Martorellas, y se dedica a la producción y verificación de una parte de los *engineered components*. Entrando más en detalle, las operaciones que se llevan a cabo en esta planta industrial son las siguientes:

1. Compactación del polvo de metal duro
2. Mecanizado de la pieza en verde
3. Sinterizado en horno
4. Mecanizado
5. Control de Calidad



*Imagen 1. Conjunto de procesos que coordina Hyperion del metal duro, que incluye desde la extracción hasta la venta. Imagen extraída de la página web oficial de Hyperion.*

Tal y como se puede apreciar en la imagen, de todos los procesos que lleva Hyperion, sólo los mencionados antes son llevados a cabo en la sede de Barcelona, debido a que el resto de ellos pertenecen a las fases de obtención del polvo y de venta al cliente, y que por tanto no entran dentro del rango de actuación de la planta.

Para finalizar con este apartado sobre la empresa, se terminarán enumerando las líneas de productos que la sede de Barcelona se dedica a fabricar. De toda la oferta de productos de *engineered components* que ofrece Hyperion, la planta de Barcelona únicamente se encarga de producir los siguientes:

- Can tooling: todas aquellas herramientas destinadas a la fabricación de latas.
- Fluid Handling: son productos diseñados para aplicaciones muy especiales de obtención y extracción de petróleo y otras sustancias.
- Automoción: pequeñas piezas que forman parte de los motores de algunos camiones.
- Núcleos e hileras: pequeñas piezas diseñadas para aguantar fuertes condiciones de desgaste, sirven para aplicaciones varias.

## 5.2. Justificación del caso elegido

Ahora que ya se ha visto el funcionamiento de la empresa, y las operaciones que se llevan a cabo en la sede de Barcelona, llega el momento de explicar con más detalle dónde se aplicarán las mejoras, y aportar motivos que justifiquen esta decisión.

Dentro de todas las áreas de productos que se producen en Barcelona y que se han mencionado anteriormente, se ha decidido aplicar las mejoras en el área de **Can Tooling**. Dentro del área de *Can Tooling*, se ha decidido estudiar la **línea de producción de anillos**, de la cual se analizaron las diferentes operaciones que se llevaban a cabo ahí y se decidió estudiar más exhaustivamente la **etapa de prensado o compactación**. Por último, dentro de todas las prensas se eligió la única **prensa de control numérico** que hay, dado que el resto son manuales.

### Familia de productos elegida: Can Tooling

Como se ha visto antes, la empresa en Barcelona trabaja con varias familias o grupos de productos en función de su utilidad: *can tooling*, *fluid handling*... etc. De todos estos grupos, finalmente se ha optado por *Can Tooling* debido a que es el área estrella de la compañía, y la que más ingresos reporta a la sede Barcelona, dado que la mayor parte de la planta de producción está enfocada a esta familia.

### Línea de productos elegida: Anillos

Una vez se decidió que las mejoras a implantar tenían que realizarse sobre el área de *Can Tooling*, tocaba decidir qué línea de productos de este área estaba más necesitada de mejoras. Para ello, se realizó un análisis ABC de todos los productos de *Can Tooling* producidos en la sede de Barcelona para así poder decidir sobre cuál de las líneas de producción era más prioritario aplicar las mejoras. Los productos son los siguientes:

- **Punches** (Punzones): sirven para empujar la chapa de aluminio en el proceso de embutición a través de los anillos.
- **Ironing and Redraw Dies** (Anillos de planchado y estirado): le dan la forma al cuerpo de la lata conforme la chapa de aluminio va pasando entre ellos.
- **Redraw sleeves** (Prensa de copas): elemento que colabora con la entrada de la chapa a través de los anillos.

- **Dome Die and Outer Retainer** (domo y manga del domo): le dan la forma de la base a las latas.



*Imagen 2. Conjunto de elementos que conforman el sistema de Can Tooling: 1 punzón, 3 Ironing Die, 1 Redraw Die, 1 Redraw Sleeve, 1 Dome Die y 1 Outer Retainer. Imagen extraída de la página web oficial de Hyperion.*

Para realizar el análisis se han tenido que tener en cuenta previamente una serie de parámetros:

- **Venta anual estimada:** para cada una de las líneas de productos se ha tenido que realizar una estimación de los valores de las ventas. Para ello, se han tenido en cuenta varios factores: Por una parte, los datos reales de ventas de años anteriores de cada uno de los productos de *Can Tooling* de la empresa, y por otro lado, hay que tener en cuenta que se trata de una empresa que no produce en base a previsiones, sino en base únicamente a demanda del cliente, por lo que también era útil tomar datos de los niveles de producción, dado que iban a encajar teóricamente con los valores de venta.
- **Precio unitario de venta:** como lo que se está haciendo es realizar una clasificación ABC de los productos en base al criterio de ventas, se han tenido que tomar los valores de precios a los que se ha vendido a cliente, y no los valores de precio que supone para la empresa la fabricación de dicho producto, que son los que se harían si se realizara el análisis ABC en base a criterio productivo.

En base a estos datos, se ha realizado y obtenido la siguiente tabla:



CLASIFICACIÓN ABC DE PRODUCTOS DEL ÁREA DE CAN TOOLING						
Producto	Venta anual [unid]	Precio unitario [€/unid]	Ingreso anual [€]	Porcentaje del ingreso parcial [%]	Porcentaje del Ingreso acumulado [%]	Tipo producto
Ironing and Redraw Dies	120000	240	28800000	45,58	45,58	A
Punches	22000	900	19800000	31,34	76,92	A
Redraw sleeves	20000	400	8000000	12,66	89,58	B
Dome Die and Outer Retainers	10000	550	5500000	8,71	98,29	B
Otros	12000	90	1080000	1,71	100	C
<b>Total</b>	<b>184000</b>		<b>63180000</b>			

Tabla 4. Clasificación ABC de productos de la sede de Barcelona en el área de Can Tooling.

Si se observa la tabla, se puede ver que hay una gran diferencia entre el número de unidades anuales vendidas de anillos (*ironing and redraw dies*) y el resto de componentes que conforman las partes esenciales de *can tooling*. Esto es debido a que generalmente todos los sistemas de fabricación de latas, tal y como se puede apreciar en la imagen de la página anterior, cuentan normalmente con 4 ó 5 anillos para hacer pasar la chapa de aluminio a través de ellos, mientras que del resto de componentes solo se utilizan 1 de cada. Es decir, que cada sistema cuenta con 1 punzón, 1 prensa de copas, 1 domo, 1 manga de domo, y 4 ó 5 anillos, motivo por el cual se encuentra que se han vendido prácticamente 120.000 unidades de anillos y tan solo 22.000 unidades en el caso de los punzones o 20.000 en el caso de los *redraw sleeves*. Con respecto a la variación de los precios, únicamente cabe destacar que la diferencia tan grande existente entre el precio de los punzones comparado con el resto de componentes se debe básicamente a que los punzones están compuestos en su totalidad de metal duro, mientras que el resto de componentes como por ejemplo los anillos o los *redraw sleeves* únicamente tienen una parte de metal duro y el resto del cuerpo está conformado por otros materiales como el acero, o incluso algún material cerámico.

Según lo que dice la teoría, se definirán como productos de tipo A aquellos que conformen entre el 75 – 80% del total de ingresos anuales obtenidos. Si se observa la tabla, para el caso de Hyperion estos productos serían los *ironing and redraw dies* (anillos), y los *punches* (punzones), dado que representan el 77% del total de ingresos para la empresa en el área de *can tooling*, con un total de 48.600.000 euros de ingresos. Para el caso de los productos de tipo B, que teóricamente deberían representar entre y el 15 – 20% de los ingresos totales, se puede ver que se podrían

clasificar en esta categoría los *redraw sleeves* y los *dome die and outer retainers*. Por último, tendríamos los productos de tipo C, que son los que menos ingresos generan en la empresa, normalmente menos de un 5%, y que para este caso serían productos varios, que en la tabla se han denominado como “Otros”.

Con la tabla y la clasificación de productos ya realizada, se puede observar claramente que los productos más importantes para la empresa son los anillos, motivo por el cual se decide seleccionar esta línea de producción para mejorarla.

### Operación elegida: Prensado

Tras la elección de los anillos como producto referente de la empresa según el análisis ABC, toca ahora centrarse en su línea de producción para poder elegir la operación en que se quieren aplicar las mejoras. Para ello se antoja fundamental conocer todo el proceso por el que pasan los anillos en la planta de Barcelona, desde que salen del almacén en forma de polvo hasta que se envían a cliente.

Lo que se presenta a continuación es un diagrama de flujo que lo que permitirá es visualizar todas las operaciones de forma simultánea para así poder detectar en cuál de ellas se han de aplicar mejoras para potenciar el sistema productivo de los anillos:

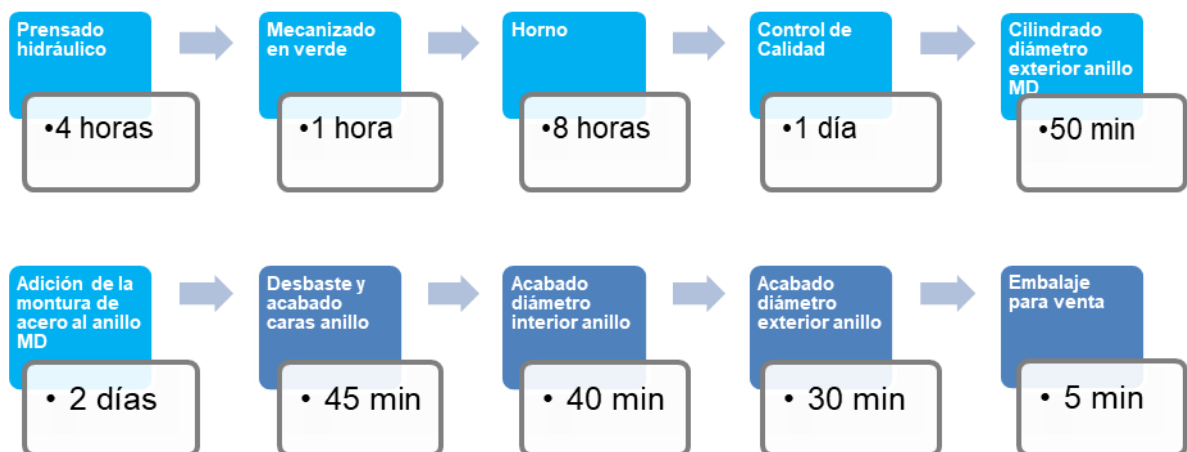


Imagen 3. Diagrama de flujo de los procesos seguidos por los anillos.

Lo que se ha hecho además es añadir el tiempo de duración promedio que se tarda en procesar el primer anillo de una orden de fabricación nueva en cada una de las operaciones. Cabe destacar que este tiempo incluye tanto el tiempo de preparación de la máquina como el tiempo de ciclo, es decir, que no discierne el porcentaje que se dedica a una u otra parte, pero que puede ser una primera buena aproximación para ver qué proceso sería recomendable mejorar.

Los procesos marcados en azul claro hacen referencia al tratamiento del anillo de metal duro (MD), mientras que los marcados en azul oscuro se refieren a los procesos sobre el anillo de metal duro ya acoplado en su montura de acero. Tanto los *Ironing Die* como los *Redraw Die* poseen únicamente una pequeña parte del total del anillo compuesto de metal duro, mientras que el resto del anillo está habitualmente hecho de acero. Esto es debido a que únicamente el diámetro interior de los anillos trabaja, dado que es la parte por la que pasa la chapa de aluminio con el punzón, y por eso se hace de metal duro. El resto del anillo, como no trabaja prácticamente se puede hacer de otro material, como por ejemplo el acero o alguno cerámico, para evitar un despilfarro del metal duro y un encarecimiento del coste del anillo.



*Imagen 4. Ejemplo de Ironing Dies, con anillo interior de metal duro y montura externa hecha de acero. Imagen extraída de la página web oficial de Hyperion.*

Antes de decidir sobre qué proceso aplicar las mejoras, hay que tener en cuenta una serie de factores sobre ellos:

- El proceso de control de calidad se realiza en un departamento concreto de la empresa ajeno al de producción, por lo que no se tiene mucho rango de actuación para mejorar este proceso.

- La montura de acero que se le hace al anillo de metal duro se hace en un proveedor externo subcontratado, por lo que tampoco se puede actuar sobre él en principio.
- La introducción de la pieza de metal duro en el horno es una operación que depende exclusivamente de las propiedades del metal duro y del tiempo necesario que ha de estar en el horno, por lo que no hay tampoco mucho margen de mejora.

Todos estos procesos, tras los motivos expuestos, quedan excluidos de ser candidatos para mejorarlos. A la vista de los procesos restantes, lo que se decide es ver cuál de todos los procesos es el más restrictivo, es decir, cuál es el cuello de botella, y decidir actuar sobre él. En este caso, se puede identificar claramente que el cuello de botella es el prensado con una duración de unas 4 horas aproximadamente, un valor muy superior al resto de operaciones restantes que no habían sido descartadas, y que representa el tiempo total promedio que se tarda en preparar la máquina para la siguiente orden de fabricación sumado al tiempo que se tarda en prensar la primera pieza de dicha orden.

#### Máquina elegida: Prensa de control numérico

Ahora que se sabe que donde mejor puede ir aplicar las mejoras es en el proceso de prensado, toca identificar si es un problema general a nivel del proceso, o si hay algún problema concreto a detectar en la zona.

En el momento en que se decide investigar el área de prensado y compactación, se descubre que resulta que acaba de incorporarse una nueva prensa en planta, hecho que conduce a comprobar si el problema de los tiempos tan elevado era causado por esta nueva máquina o era un problema ya existente antes de su entrada. Para ello, lo que se hace es recoger una serie de tiempos tanto para la nueva prensa como para las antiguas, en que se indica de las 24 horas del día, cuánto tiempo ha estado cada máquina preparándose, cuánto ha estado produciendo, y cuánto parada. Tras analizar y agrupar todos los tiempos, se obtiene la siguiente distribución de tiempos:

<b>DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE MÁQUINA EN ÁREA DE PRENSADO Y COMPACTACIÓN</b>			
Máquina	% Tiempo parada	% Tiempo preparación	% Tiempo en serie
Prensa manual 1	13	45	42
Prensa manual 2	14	50	36
Prensa manual 3	9	52	39
Prensa semiautomática control numérico	7	72	21

*Tabla 5. Distribución de los tiempos de las prensas (serie, preparación y máquina parada).*

El tiempo de preparación incluye todo el tiempo que se tarda en desmontar cada prensa de la orden de fabricación anterior y montar todo el conjunto de utillajes para la siguiente, hasta dejar la prensa lista para empezar a trabar en serie. El tiempo en serie es todo el tiempo que se invierte fabricando las piezas, es decir, desde que se termina la preparación con la primera pieza buena fabricada, hasta que se termina la última pieza del lote fabricado. El tiempo de parada recoge todos los tiempos muertos en que la máquina no está trabajando entre varios pedidos y órdenes de fabricación.

Observando la tabla 5, se puede ver que los tiempos de preparación generalmente ocupan entre un 40 – 50% del tiempo total de máquina en los casos de las prensas manuales, mientras que en el caso de la prensa semiautomática ocupa más del 70% del total del tiempo. En lo que respecta al tiempo de parada, se puede descartar que haya algún problema en las prensas por falta de productividad, dado que a la vista de los datos están muy poco tiempo paradas. Con respecto al tiempo en serie, se puede ver que únicamente en el caso de la prensa semiautomática se tiene un valor excesivamente bajo, dado que en los otros casos se tienen valores entorno al 35 – 40%.

En vista a los datos recogidos sobre la distribución de tiempos de las prensas, parece claro que la máquina sobre la que se ha de actuar es la semiautomática, dado que presenta unos valores de preparación excesivamente altos con respecto al resto de máquinas, y también porque la relación de tiempo de preparación con respecto al tiempo en serie es excesivamente elevada. Además, tras conversar con el supervisor de la sección y diversos expertos del área, se pudo confirmar que no sólo la proporción preparación – serie es elevada, sino que los valores de tiempo de las preparaciones son

excesivamente grandes, en algunos casos llegando a alcanzar a las 4 horas. Teniendo en cuenta que en las otras prensas manuales las preparaciones estaban alrededor de la hora y media, parece claro que la máquina a la que hay que atacar es la de prensado semiautomático pero concretamente a sus preparaciones.

Con respecto al por qué de los tiempos de preparación tan elevados, hay que tener en cuenta que se trata de una máquina nueva que se acaba de incorporar en planta. Lo que se quiere decir con esto, es que los procedimientos a seguir cuando se monta no están todavía del todo definidos, no están claros los pasos que se tiene que seguir. A todo esto, hay que añadir que se trata de una prensa que incorpora una extensa gama de utillajes diferentes, muchos más de los que se utilizaban en las otras prensas, dado que se trata de una prensa también más versátil. Otro punto fundamental es que es una prensa de control numérico, lo que implica que muchos operarios hayan tenido que aprender a programar por primera vez en su vida dado que las otras eran manuales. Todos estos temas se tratarán en el punto posterior y se tratará de darles solución a partir de las propuestas de mejora que se planteen con las herramientas Lean que se apliquen.

## 6. Aplicación de las herramientas de mejora

Tras haber discutido y explicado el porqué de la decisión de mejorar la prensa semiautomática de control numérico de polvo metálico, llega ahora el punto más importante del trabajo: la aplicación práctica de las herramientas *Lean* junto a la propuesta de mejoras para reducir sus tiempos de preparación.

Tal y como se ha visto, no es sólo un problema de la relación entre el tiempo que se destina a preparar y a trabajar con la máquina en serie, dado que si la máquina tardara 40 minutos en preparar y 20 en producir las piezas, probablemente ni se hubiera detectado el problema, sino que el problema va más allá, y los tiempos de preparación son excesivamente elevados con respecto a las preparaciones de las otras prensas. Cuando se dice que son excesivamente elevados, se está hablando del orden de varias horas de más de preparación, es decir, que si en una prensa manual se tardaba 1 hora y media en preparar la máquina para una orden de fabricación concreta, para esa misma orden en la prensa semiautomática se puede tardar entorno a las 3 – 4 horas dependiendo de los utillajes que se tengan que montar. Teniendo en cuenta que la prensa semiautomática se compró con el objetivo de reducir los tiempos de preparación, especialmente para las series largas (dado que el hecho de ser semiautomática implica que lleva cargador de llenado del polvo de metal duro), se tienen que tomar medidas para conseguir que al menos los valores de la prensa semiautomática se asemejen un poco más a los de las manuales.

Lo que se hará a continuación es explicar en qué medida se ha podido aplicar la herramienta de forma práctica en la empresa, y detallar la propuesta de mejora que ha surgido a partir de ésta, con las correspondientes mejoras obtenidas.

### 6.1. SMED

El objetivo de este apartado, es detallar todos los pasos que se han seguido a la hora de aplicar el SMED de forma práctica. Para ello, se mostrará el trabajo realizado en cada una de las fases:

#### 6.1.1. Observación y medición

Si se recuerda, la fase de observar y medir era la primera de todas las fases a aplicar en

el SMED, y a su vez era la más importante de todas. La más importante porque en ella es donde se tiene que entender realmente el funcionamiento de la prensa, y tomar los tiempos en base a los cuales después se podrán aplicar mejoras. Se podía dividir en dos fases muy concretas: investigación y medición.

#### 6.1.1.1. Investigación

La fase de investigación consistía básicamente en familiarizarse con la máquina y los diferentes tipos de preparaciones que hay. Todo este proceso engloba el entender por qué se utilizan uno u otros, por qué unas operaciones se realizan y otras no, el orden en que éstas se suceden... pero todos estos puntos se irán explicando en este apartado en su debido momento. Lo primero que se hizo, una vez se decidió de forma definitiva que se iba a aplicar el SMED en la prensa semiautomática fue formar un equipo de trabajo:

### FORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

La formación de un equipo con el que trabajar para el SMED se antojaba fundamental para el éxito del proyecto, dado que se trataba de una tarea muy extensa y compleja que requeriría de varias personas trabajando en común. Se ha decidido incluir aquí este punto porque es una acción que se llevó a cabo durante la primera parte del SMED, pero lógicamente el equipo de trabajo ha colaborado por igual en todo el resto de fases del proyecto.

El primer motivo por el que era necesario contar con un equipo de trabajo es porque antes de haber siquiera visto la prensa y asistido a preparaciones, era necesario que alguien pudiera dejar claros a priori cuáles eran los **puntos fundamentales a tener en cuenta en las preparaciones**. Parámetros como si se montará el cargador de llenado o no, o si se tiene que realizar un cambio de material respecto a la orden anterior (que serán explicados más adelante) son fundamentales en las preparaciones porque pueden decantar el tiempo de preparación en una u otra dirección. Sirvió entre otras cosas, para tener un pequeño adelanto de lo que se vería más adelante en las preparaciones. Además, el equipo sirvió también al inicio del proyecto para permitir a todos **estar al corriente de la situación actual que se vivía en la prensa**, los problemas que se originaban y el orden de tiempos de preparación que tenía la prensa en aquellos momentos.

Otro de los motivos por los que se veía primordial el formar un equipo de trabajo es



porque a la hora de establecer los diferentes tipos de preparaciones y el orden de las operaciones, era necesaria gente más experimentada que conociera bien el proceso de prensado, y que pudiera dar el visto bueno al trabajo que se iba haciendo. Es importante mencionar que también han sido clave en la elaboración y propuesta de algunas de las mejoras que se detallan al final del apartado.

El equipo de trabajo principal se compuso de las siguientes personas:

- Técnico de compactación del área de prensas (departamento de producción).
- Experto del área de sinterizado y prensas hidráulicas (departamento de producción).
- Ingeniero de procesos (departamento de ingeniería).
- Operarios de prensas que trabajan con la prensa semiautomática (departamento producción).
- Becario de ingeniero *Lean* (departamento de *Lean Manufacturing*).

Se pueden añadir también las colaboraciones de otras personas:

- Supervisora del área de prensas y mecanizado en verde (departamento de producción).
- *Lean Champion* (departamento de *Lean Manufacturing*).

Como se puede ver, es un proyecto que ha necesitado de la ayuda de mucha gente debido a su magnitud y a la complejidad de las preparaciones. Aparte de todos los expertos del área de prensado y compactación, y de la ayuda de diversos ingenieros, una de las cosas claves para tener una buena sintonía con el resto del equipo fue hacer partícipes de las intenciones de querer mejorar las preparaciones a los operarios, dado que al final, son las personas que más tiempo pasan con la prensa y los que más idea tienen de los problemas que allí se originan. Es por ello que, dentro de la filosofía del Gemba que se explicó en capítulos anteriores, siempre se intentó mantenerles al día de todos los cambios o ideas que iban surgiendo, para que dieran su visto bueno o aportaran otras ideas o puntos de vista diferentes.



Tal y como se puede ver, la plantilla consta de varios elementos característicos:

- Una estructura de **operación-tiempo**: lo que permite es describir todas y cada una de las operaciones que tienen lugar en las preparaciones en los espacios en blanco, junto con su duración asociada, que se escribe en la casilla de "Tiempo". El hecho de crear así la plantilla permite tener registrados los tiempos de todas las operaciones, para así poder tener una primera idea de cuáles de ellas son las que duran más y ocupan un mayor porcentaje de las preparaciones, cuáles se deberían tratar de atacar...etc
- **Macrocasilla final**: es la última casilla de toda la plantilla, y es en la que se apuntan los tiempos de duración de todas las operaciones sumadas, y permite obtener el tiempo ideal de duración de la preparación. Se dice tiempo ideal de preparación porque incluye únicamente el tiempo debido a las operaciones que forman parte de la preparación y no incluye el tiempo ocioso, que es todo el resto del tiempo que la máquina está en preparación y en la que el operario no la está preparando por diversos motivos: tiempo de descanso del operario, cambio de turno, asistencia a una formación, trabajo en varias máquinas de forma simultánea...etc.
- **Parámetros de preparación**: son características de la orden de fabricación, de la pieza, y del utillaje con el que se va a fabricar. Lo que se pretende con esto es ver cómo varían las preparaciones en función de estos parámetros, y así poder discernir cuáles son importantes y se han de tener en cuenta, cuáles no lo son...etc.
  - El **Nº OF** indica qué referencia es la que se va a prensar. Es útil apuntarlo para poder acceder a todo el resto de parámetros que se describirán a continuación, por si se diera el caso de que no se apuntaran correctamente o se perdieran sus valores.
  - El parámetro **pieza** habla del tipo de pieza que se va a prensar. Por esta prensa el 90% de las piezas que pasan son anillos, por lo que puede darse el caso de que pasaran otras que también se prensaran ahí como por ejemplo los *Redraw Sleeves*. Se incluyó también en los parámetros básicamente para confirmar que

efectivamente la preparación que se iba a hacer fuera de anillos, que son las piezas que se han decidido estudiar.

- **La hora de inicio y final de preparación** es útil para poder comparar el tiempo real de duración de la preparación con el tiempo ideal mencionado anteriormente. El tiempo real de la preparación es el acontecido entre la hora de inicio y la hora final de ésta, y es por tanto el que incluye todas las actividades que tienen lugar, formen parte o no de la preparación (es decir, se tiene en cuenta también el tiempo ocioso en el cálculo del tiempo total de preparación). El que se tendrá que tener en cuenta para mejorarlo por medio del SMED es el tiempo ideal de preparación, pero el tiempo real ha de servir como referencia también para ver que el porcentaje de tiempo ocioso con respecto al tiempo total de las preparaciones no sea excesivamente elevado.
- Con respecto a los utillajes a utilizar, se incluyeron los siguientes parámetros: **diámetro interior de la matriz, diámetro de la espiga, tipo de matriz utilizada, tipo de espiga**. Su objetivo, como ya se ha dicho, era ver posibles diferencias en operaciones o tiempos en las preparaciones en función de estos parámetros. Más adelante se explicará con más detalle todos los tipos de utillajes utilizados, y la diferencia existente en las preparaciones al utilizar uno u otro.
- Otra cosa a destacar es el **uso o no de cargador**. Éste era un punto fundamental que diferenciaba mucho una preparación de otra, según lo que se habló tras la primera reunión con el equipo. Se decidió incluir por tanto si se utilizaba o no, pero además también el número de piezas que se tenían que prensar, dado que sólo es beneficioso montar el cargador en aquellos casos en que se preme un número elevado de piezas, el cual no estaba determinado aún.
- Por último quedan algunos parámetros más que se apuntaron para tener más información de la pieza a prensar, como por ejemplo su **peso, altura o material**.

Una vez diseñada la plantilla, se empezó a asistir a las preparaciones, con un total de 9. Se trató de ver siempre diferentes tipos de montaje con utillajes diferentes que permitieran ver todos los caminos posibles, pero debido al gran abanico de posibilidades de montaje, no se pudieron abarcar todas las opciones posibles. Otra cosa en la que se hizo mucho énfasis también fue en asistir a las **preparaciones con operarios diferentes**, para así poder comprobar similitudes o diferencias a la hora de montar la prensa.

Lo que se presentará a continuación son las diferentes respuestas a los objetivos que inicialmente se plantearon en la fase de investigación, es decir, se explicarán todos los conceptos, utillajes, procesos... que se han aprendido gracias a la asistencia a las preparaciones iniciales, y que eran algunas de las cosas que se buscaba conseguir mediante la asistencia a ellas.

#### **A) PROCESO DE PRENSADO DE ANILLOS**

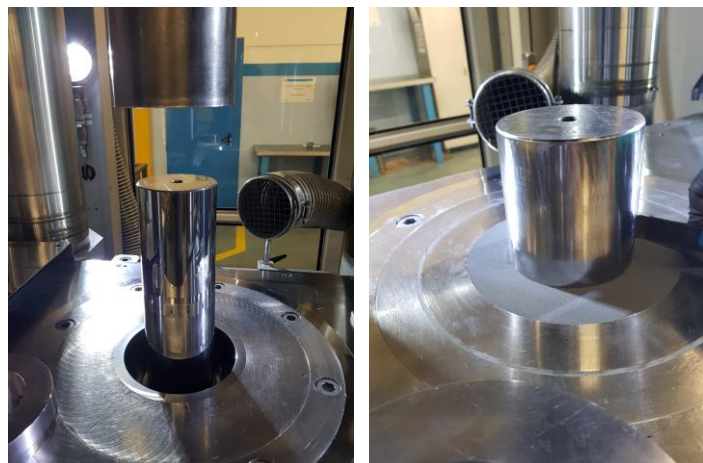
Lo que se hará a continuación, antes de hablar de los diferentes tipos de montajes y utillajes que existen en las preparaciones, es explicar brevemente el proceso de prensado de los anillos, para que así se puedan tener claros los conceptos básicos para cuando más adelante se entre en detalle y se hable de las preparaciones. Por otro lado, se quiere destacar que tanto el proceso de prensado como los utillajes y montajes de los que se hablará de ahora en adelante, son exclusivos para los anillos, de forma que no son extrapolables para casos de otras piezas diferentes.

El prensado del polvo metálico en los en los anillos es un proceso que consiste básicamente en obtener una pieza compactada, usualmente denominada “pieza en verde”, mediante la aplicación de unas fuerzas de presión muy elevadas sobre el polvo por medio de dos punzones. Para ello, el polvo se vierte sobre una cavidad denominada matriz, que se encarga de delimitar el diámetro exterior de los anillos y de mantener la forma exterior de la pared de éstos, mientras el polvo se comprime por medio del punzón superior y del inferior:



*Imágenes 6 y 7. Imágenes de una matriz standard en su estantería y de otra ya montada en prensa, respectivamente.*

Sin embargo, para el caso que nos ocupa, lógicamente es necesaria la presencia de algún otro utillaje que se mantenga en el interior de la matriz y le dé la forma al diámetro interior del anillo en el momento en que el polvo se está prensando, dado que de lo contrario lo que se obtendría sería un cilindro o disco macizo que no tendría el agujero interior. Ésta es precisamente la función de la espiga:



*Imágenes 8 y 9. Espiga monoblock en posición de llenado, y otra en posición de prensado con el polvo ya vertido, respectivamente.*

Tal y como se puede apreciar en las imágenes, la espiga es el elemento que se encargará de definir el agujero interior del anillo, evitando que el polvo metálico penetre en esa parte de la cavidad, de forma que el diámetro de la espiga acabará siendo el valor del diámetro interior del anillo una vez prensado. De la misma manera sucede con el diámetro exterior del anillo, que también vendrá marcado y coincidirá con el valor del

diámetro del agujero de la cavidad de la matriz.

Resumiendo lo dicho anteriormente, se puede decir que los anillos se prensan por medio de la acción simultánea de fuerzas de presión de dos punzones sobre el polvo vertido entre la cavidad de una matriz y una espiga que va por dentro de ella.

## **B) UTILLAJES DE LA PRENSA UTILIZADOS EN LAS PREPARACIONES**

Ahora que ya se tiene un poco más de conocimiento de en qué consiste el proceso de prensado de los anillos, se puede pasar ya a hablar en profundidad de los tipos de utillajes que se utilizan en las preparaciones. Lo que se hará en primer lugar es enumerar y definir cada uno de los utillajes, explicando cuáles son sus funciones básicas y su utilidad, y después, en caso de que sea necesario, explicar los diferentes tipos que existen de dicho utillaje:

### ***Espiga y elementos de contacto***

Es el elemento que se encarga de crear la cavidad interior a la hora de prensar los anillos. Como ya se ha dicho anteriormente, se mueve por el interior de la matriz, dándole al diámetro interior del anillo prensado el valor de su diámetro, y evitando que el polvo se compacte en esa parte de la cavidad de la matriz. Suele estar hecha de acero, para así poder resistir las altas fuerzas o impactos a las que puede llegar a ser sometida cuando se prensa el polvo de metal duro, que en algunos casos llegan a ser de más de 1200 kN, y para que a la vez pueda ser más o menos ligera y sea fácil de manipular a la hora de montar y desmontar.

Existen varios tipos de espiga, en función de su rango de movimiento dentro de la prensa: la espiga monoblock y la espiga independiente. La diferencia básica entre ambas es que la independiente puede esconderse en el interior del porta-punzón inferior y así permitir el llenado del polvo en el interior de la matriz por medio del cargador, mientras que la monoblock no se puede esconder y hace que se tenga que llenar y enrasar manualmente, dado que sino el cargador impactaría contra ella.

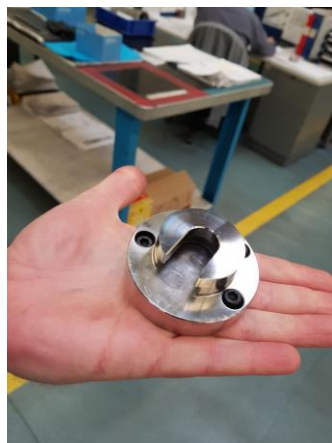




*Imágenes 10 y 11. Espiga monoblock montada junto con su base, y espiga independiente montada con su alojamiento o brida de sujeción, respectivamente.*

La espiga monoblock siempre va acompañada de un elemento que hace la función de base, que suele ser también de acero y que le permite apoyarse correctamente en lo que se conoce como porta-punzón inferior, que será explicado posteriormente. En la imagen de la izquierda se puede apreciar el conjunto espiga monoblock - base.

En el caso de la espiga independiente, que es la que se muestra en la derecha, se tiene que acoplar a un elemento auxiliar que va por el interior del porta-punzón inferior, denominado alargo porta-espiga. Para poder adaptarlo, se utiliza una brida, o también denominada alojamiento de la espiga, que es el elemento inferior de la imagen y que hace la misma función que la base de la monoblock, pero permitiendo el apoyo en el alargo en vez de en el porta-punzón inferior. Suele ser también de acero, y a diferencia de la base de la monoblock, posee 4 cavidades para tornillos de métrica 10 mm que permiten fijar de manera precisa la espiga al alargo porta-espiga.



*Imagen 12. Alojamiento o brida de sujeción de la espiga independiente.*



## **Punzones**

Son los elementos que se encargan de aplicar la fuerza de prensado y compactar el polvo para acabar originando la pieza en verde. Como se mencionó anteriormente, en prensa se tienen 2 punzones: el punzón superior y el inferior. Mediante su forma y la regulación de la fuerza aplicada por cada uno de ellos, se puede lograr obtener una u otra distribución de densidades del polvo a lo largo de la pieza, de forma que un pequeño descantonado en la superficie del punzón o una mala decisión del porcentaje de fuerza parcial a aplicar por cada uno de los punzones al prensar puede derivar en piezas de scrap, y en el peor de los casos en la rotura de los utillajes. Es por todo esto que se considera como un utillaje esencial, y que ha de elegirse con sumo cuidado.

De la misma forma que ocurre con las espigas, se pueden distinguir también 2 tipos de punzones en función del montaje que se haga, monoblock o independiente. Las arandelas harán la función de punzones en caso de que se haga montaje monoblock, y en el caso de espiga independiente se utilizarán los punzones con perfil. En este caso, a diferencia de como sucedía con las espigas, las diferencias entre uno y otro tipo de punzón son bastante más apreciables a simple vista, dado que, aunque la función de ambos elementos es la misma, son dos elementos que estructuralmente son muy diferentes entre sí.

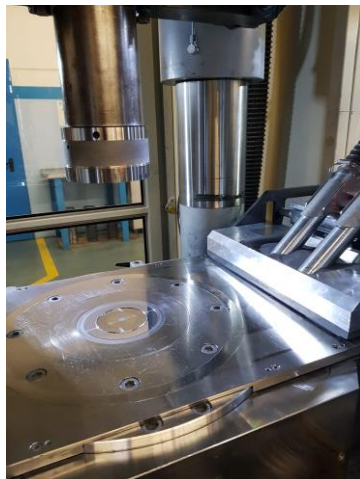


*Imágenes 13 y 14. Punzón con perfil de espiga independiente, y conjunto de espiga monoblock, formado por espiga, base y arandelas, respectivamente.*

El elemento que se puede ver en la imagen de la izquierda es el punzón de perfilado. Tal y como se puede apreciar, el punzón no es totalmente plano, sino que posee un pequeño perfil en su cara superior, motivo por el que se le denomina así. La función de este perfil es aprovechar el prensado de la pieza para realizar unos pequeños chaflanes que son exigidos por el plano, y así poder ahorrar tiempo en el momento en que la pieza

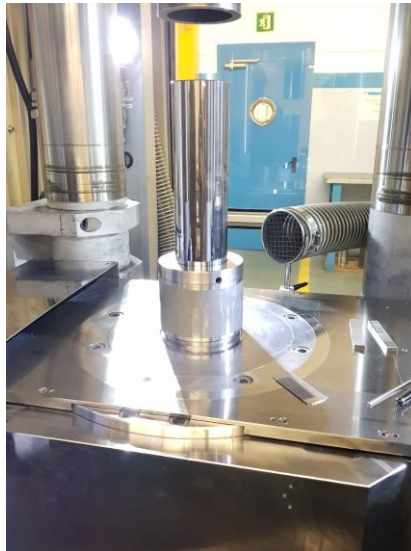
se lleva a tratar en el proceso de mecanizado en verde, que si se recuerda era el proceso posterior al prensado. A la hora de prensar, se colocan estos punzones con perfil como punzones superior e inferior, enroscándolos cada uno en sus respectivos porta-punzones, y se hace pasar la espiga independiente a través de la matriz, pero también a través de los propios punzones, haciendo fuerza con ambos hasta compactar el polvo.

En el caso de la imagen de la derecha, lo que se puede ver es el conjunto espiga monoblock, base y arandelas. En este caso, son las arandelas las que ejercen la función de punzones, dado que entre ellas es donde queda compactada la pieza. Lo que se hace generalmente es introducir la espiga monoblock en máquina junto con su base, que recibe la fuerza de prensado transmitida a través del porta-punzón inferior, y además introducir una arandela a través de la espiga.



*Imagen 15. Prensa ya lista para prensar manualmente*

Si se pone atención en la imagen anterior, se puede ver que la arandela está ya introducida en la espiga y colocada sobre la base. Una vez hecho esto, se introduce el polvo metálico manualmente, se enrasa y se coloca la siguiente arandela, haciendo que el polvo quede contenido entre las 2 arandelas, y con la espiga monoblock. Una vez prensada, la pieza lista para extraer quedaría con el siguiente aspecto:



*Imagen 16. "Pieza en verde" después de haber sido compactada por las arandelas.*

En la imagen anterior se puede ver que la pieza ha quedado compactada entre las dos arandelas, que han recibido las fuerzas de los porta-punzones superior e inferior.

### ***Porta-punzones***

Son los elementos que dan robustez al proceso de prensado, y los que se encargan de transmitir la fuerza de prensado desde la máquina hasta los punzones, que van sujetos a ellos. Por consiguiente, de la misma manera que hay 2 punzones en máquina, habrá también 2 porta-punzones: el inferior y el superior.

Existen diferentes tipos de porta-punzones, dependiendo de si la espiga que se va a montar es independiente o monoblock. En el caso de la independiente, cabe recordar que el llenado del polvo de la matriz se hacía por medio del cargador, el cual recorre toda la mesa porta-matriz, motivo por el cual era necesario que la espiga pudiera esconderse en el interior del porta-punzón inferior. Debido a esto, el porta-punzón inferior en el montaje de espiga independiente no es totalmente macizo y presenta una cavidad cilíndrica en el interior de la cual va montado el alargado porta-espiga junto con la espiga, y que permitirá que la espiga se vaya moviendo por su interior a lo largo del proceso de prensado.



*Imagen 17. Porta-punzón o taco inferior siendo introducido en la prensa con ayuda del manipulador*

Para unirle el punzón inferior con perfil al porta-punzón inferior es necesario utilizar otro elemento auxiliar, dado que el punzón inferior presenta una rosca que el porta-punzón inferior no tiene. Para ello se utiliza un elemento que se ha decidido denominar base roscada, y que actúa como nexo de unión entre el porta-punzón inferior y el punzón inferior de los montajes con espiga independiente. Esta base roscada se une con el porta-punzón por medio de una serie de tornillos de métrica 20 que presenta en su base inferior, y se une con el punzón inferior con perfil por medio de la rosca que presenta en su parte superior.



*Imagen 18. Base roscada de la espiga independiente.*

En el caso del montaje de espiga monoblock, no es necesario que ésta se esconda en el porta-punzón inferior dado que el llenado será manual, motivo por el cual el porta-punzón inferior es totalmente macizo. A consecuencia de esto, éste tipo de montajes no requerirán base roscada, y se podrá acoplar directamente el conjunto base – espiga

monoblock - arandelas encima del porta-punzón inferior. En la imagen posterior se muestran los porta-punzones inferiores existentes tanto para montajes independientes como los monoblock, agrupados en el estante inferior de la estantería:



*Imagen 19. Estantería de espigas monoblock en parte superior y porta-punzones inferiores en la última estantería.*

Si se pone atención también en la parte inferior de los porta-punzones, se puede ver que tienen como unas pequeñas marcas o guías. Éstas marcas están hechas para que el porta-punzón inferior pueda ser fijado a la prensa, y esto se hace por medio de unas garras hidráulicas que lo collan por su parte inferior una vez el porta-punzón ha sido introducido en la prensa.

Con respecto a los porta-punzones superiores, también hay algunas diferencias entre los que se utilizan con espiga independiente y monoblock. Los que se utilizan con espiga monoblock son huecos y es debido a una simple razón, y es que al no tener las preparaciones monoblock un llenado con cargador, y en consecuencia tampoco un porta-punzón inferior donde se esconda la espiga, ésta queda siempre por encima de la mesa porta-matriz, y es necesario un porta-punzón superior que apriete la arandela superior sin hacer contacto con la espiga.



*Imagen 20. Prensa con preparación monoblock en posición de extracción de pieza.*

En la imagen anterior, que corresponde a una preparación monoblock, dado que ya se aprecia que no hay cargador para rellenar el material, se puede ver claramente que si el porta-punzón superior no fuera hueco, impactaría contra la espiga al intentar prensar la pieza.

En caso de montaje con espiga independiente, como ya se sabe que la espiga se puede esconder, ya no se tiene este problema de impacto del porta-punzón superior con la espiga. Además, cabe recordar que para este tipo de montajes los punzones que se utilizaban eran aquellos con perfil que iban roscados al porta-punzón, motivo extra por el que el porta-punzón superior debe ser macizo y con un tornillo que le permita roscarle el punzón superior con perfil.

En la imagen posterior se muestra la estantería que contiene todos los porta-punzones superiores utilizados para la prensa, mezclando los que se utilizan para espiga independiente (macizos con cavidad para roscar tornillo pequeño), y los de monoblock (huecos):





*Imagen 21. Estantería de porta-punzones superiores*

De la misma manera que sucedía con los porta-punzones inferiores, los superiores también presentarán una pequeña zona marcada que permitirá la sujeción en prensa por medio de garras hidráulicas, tal y como se puede ver en la base de los porta-punzones superiores.

### ***Suplementos monoblock del porta-punzón inferior***

Hay una serie de elementos que sirven para aumentar la altura a la que se encuentra el conjunto base – espiga monoblock – arandelas, dado que pueden darse algunos casos en que el porta-punzón superior que se tiene que utilizar sea demasiado corto y no llegue a hacer contacto con la arandela superior para prensar el polvo metálico contenido entre ambas arandelas. Para evitar este problema, hay una serie de elementos denominados suplementos, cuyo objetivo es aumentar la altura del conjunto antes mencionado para que así pueda llegar a prensarse la pieza correctamente. Estos suplementos metálicos, se roscan en la parte superior del porta-punzón inferior, y hacen que la base de la espiga monoblock se apoye encima de ellos en vez de encima del porta-punzón inferior, haciendo que aumente significativamente la altura a la que se prensará.

Estos suplementos tienen forma cilíndrica, son de acero y de 50 mm de altura, y hay 3 por cada porta-punzón inferior de diámetro diferente que se tiene, dado que se ha hecho que el suplemento coincida y tenga el mismo diámetro que el porta-punzón inferior para poder así roscarlos entre ellos y evitar posibles problemas de coaxialidad y

concentricidad. En la imagen siguiente se muestran algunos de estos suplementos, ubicados en la tercera estantería:



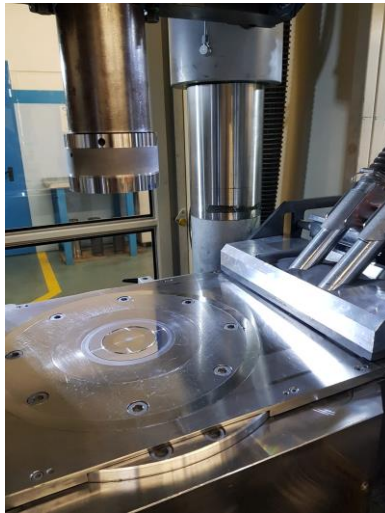
*Imagen 22. Estantería de matrices y suplementos (ubicados en la tercera estantería).*

Por último, se quiere recalcar que sólo se utilizan en los montajes de tipo monoblock, dado que en los de espiga independiente debido al movimiento interno de la espiga a través del porta-punzón inferior sería imposible.

### **Cargador**

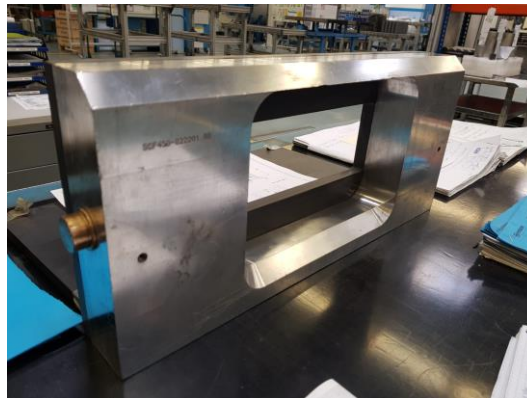
Es el elemento más importante y el que define todas las preparaciones de tipo espiga independiente. Su función básica es realizar el llenado y enrasado automático del polvo de metal duro en la matriz, para así ahorrar tiempo que se pierde llenando y enrasando la matriz manualmente. Lo que hace el cargador básicamente es recorrer la mesa porta-matriz hasta detectar el orificio correspondiente a la cavidad de la matriz, y entonces verter el material, realizando pequeñas oscilaciones hacia delante y atrás para asegurarse de que el polvo se reparte de forma homogénea en la matriz, y para también poder ir enrasándolo con cada pasada que hace por encima del polvo. En la siguiente imagen se puede ver el cargador ya lleno de polvo listo para empezar a cargar la matriz:





*Imagen 23. Prensa montada con el cargador lleno de polvo.*

El cargador consta de tres partes básicas: la plataforma de movimiento, la zapata y los tubos de llenado. La plataforma de movimiento es el dispositivo que se encarga de recibir las órdenes procedentes del programa de control numérico y mover el cargador consecuentemente a lo largo de la mesa porta-matriz, permitiendo el correcto llenado y enrasado del polvo en el interior de la matriz. La zapata es la estructura metálica que se encarga de almacenar el polvo procedente de los tubos de llenado en su interior para poder verterlo en la matriz. Es la que se muestra en la imagen siguiente:



*Imagen 24. Zapata del cargador.*

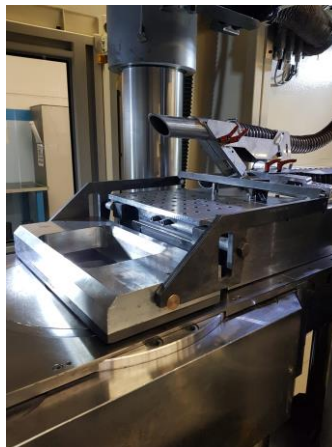
Por otra parte se tienen los tubos de llenado, que como ya se puede intuir son los que suministran el polvo a la zapata proveniente directamente del bidón de material colgado en lo alto de la máquina. El sistema que hay actualmente consiste en 2 tubos de llenado que se encargan mediante unos sensores, de detectar la cantidad de polvo que está pasando a través de ellos, y suministrar en función de esta señal la cantidad de polvo a

recibir por la zapata con ayuda de unas válvulas de llenado. En la siguiente imagen se muestran los 2 tubos de llenado:



*Imagen 25. Tubos de llenado del cargador*

Por último, cabe destacar que estos tubos de llenado van unidos a la plataforma de movimiento por medio de una superficie metálica situada en su parte superior, la cual dispone de varios agujeros que le permiten atornillar los tubos de llenado y situarlos de forma que viertan todo el polvo en el interior de la zapata. En la imagen siguiente se puede apreciar con más claridad esta rejilla metálica de la plataforma:

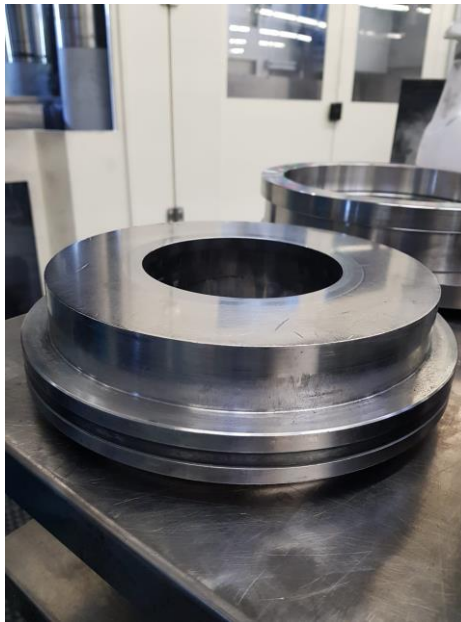


*Imagen 26. Plataforma de movimiento del cargador, montada con la zapata.*

### **Matriz**

Aunque ya se ha hablado ligeramente de lo que es una matriz y en qué consiste, en este apartado se terminará de hacer énfasis en este utillaje para entender por completo su función y los tipos de matriz que se tienen en prensa.

La matriz es el elemento en el interior del cual se lleva a cabo el proceso de prensado del polvo. Consiste en una estructura en cuya cavidad se vierte el polvo metálico, y de forma simultánea entran los punzones y la espiga, otorgando al anillo prensado las dimensiones deseadas. La matriz en sí lo que hace es establecer el valor del diámetro exterior del anillo, de forma que éste coincidirá lógicamente con el diámetro de la cavidad de la matriz.



*Imagen 27. Matriz extraída de máquina y lista para ser limpiada y guardada.*

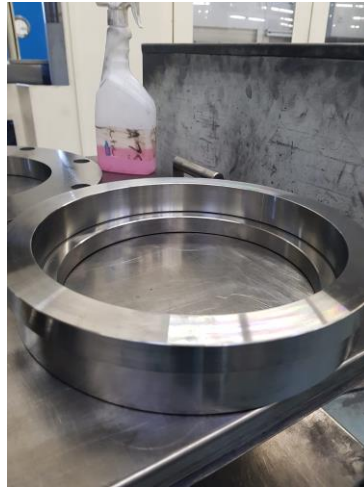
Consta además, de una pequeña estructura montada entorno a ella de un diámetro un poco más grande que el diámetro exterior de la matriz, que lo que permite es encajar la matriz en la mesa porta-matriz y acoplar encima de ella otros utillajes especiales de cierre que se verán después.

Por último, cabe destacar que las matrices se agrupan principalmente en 2 grupos en función del diámetro interno de su cavidad: inferiores a 400 milímetros, e iguales o superiores a los 400. Se agrupan en estos dos grupos debido a que dependiendo de este diámetro, se han de montar unos u otros utillajes extra, pero esto se explicará de forma más detallada más adelante.

### ***Anillos adaptadores y anillos de cierre***

Son una serie de utillajes especiales que varían dependiendo de la preparación que se tenga que realizar, y que pueden ir acoplados encima o debajo de la matriz,

dependiendo del utillaje del que se trate. Existen por una parte los anillos o aros adaptadores, cuya función es adaptar el diámetro de la matriz al diámetro del porta-punzón inferior y a su vez hacer encajar la matriz en la mesa porta-matriz. Aquí se muestra un ejemplo:



*Imagen 28. Anillo adaptador*

Por otra parte se tienen los anillos de cierre, que como su nombre indica sirven para fijar la matriz a la mesa una vez que ésta ha sido centrada, y así evitar que el resto de utillajes asociados se muevan (anillo adaptador, otros anillos de cierre, espiga...). Presenta una serie de cavidades en las que van unos tornillos atornillados que unen el anillo a las placas de la mesa porta-matriz. Aquí se muestra un ejemplo de un anillo de cierre:



*Imagen 29. Anillo de cierre*

Con la explicación de estos últimos elementos, se podría dar por cerrada la explicación de todos los utillajes utilizados en prensa cuando se prepara la máquina. Como ya se ha dicho anteriormente, la asistencia a las primeras 9 preparaciones no solo sirvió para conocer el proceso de prensado de los anillos y los utillajes que se utilizan en las preparaciones, sino para conocer también la distribución de la planta, y todos los pasos en los movimientos y en las operaciones que se siguen cuando se prepara la máquina, que será lo que se verá en el siguiente punto.

### **C) LAYOUT DE LA ZONA DE PRENSAS**

Tras conocer finalmente todos los utillajes que se utilizan en prensa y haber entendido su funcionalidad, lo que se hará en este subapartado es hablar de la distribución de éstos en la planta. Se presentará y mostrará la distribución de las diferentes máquinas de la zona de prensado, la ubicación de los utillajes, y también todos aquellos procesos que se llevan a cabo en la planta al montar una serie de utillajes y que requieren una cantidad de tiempo considerable (y que serán por tanto susceptibles de mejora).

La zona de prensado, si se hace memoria, constaba de 4 prensas, 3 de las cuales eran manuales y la otra de control numérico, que es la que se está estudiando en este proyecto. Sin embargo, además de las propias máquinas, hay una serie de mobiliario y de manipuladores extra que también están presentes en la zona, y cuya disposición se quiere examinar y estudiar para ver si son las más óptimas para ahorrar tiempo en las preparaciones, que al final es el objetivo de este proyecto.

Haciendo recuento de todas las máquinas, objetos, estanterías, manipuladores y demás cosas que hay en la zona de prensado, se puede afirmar que hay un total de:

- **3 prensas manuales.**
- **1 prensa de control numérico.**
- **2 estanterías con matrices y suplementos monoblock de los porta-punzones inferiores.**



*Imágenes 30 y 31. Estanterías con matrices y suplementos monoblock de los porta-punzones inferiores.*

- **2 estanterías con matrices y espigas monoblock, arandelas, bases y espigas independientes.**



*Imagen 32. Estanterías con matrices y espigas monoblock, independientes, arandelas, bases.*

- **1 estantería con matrices, espigas monoblock, arandelas, bases y porta-punzones inferiores.**





*Imagen 33. Estantería con espigas monoblock, arandelas, bases y tacos inferiores*

- **1 estantería con porta-punzones superiores, y utillaje de vaciado de material de preparaciones con cargador:** contiene todos los porta-punzones superiores que se pueden utilizar en la prensa, ya sean para montaje independiente o monoblock. Además, contiene también una parte del utillaje necesario para vaciar el material en casos en que éste se tiene que cambiar y se tiene el cargador con material cargado de la orden de fabricación anterior.



*Imagen 34. Estantería con porta-punzones superiores y utillaje de vaciado.*

- **1 parking del manipulador de los bidones de material:** es una zona en la que se deja el manipulador que se encarga de cargar y descargar en máquina los pesados bidones que contienen polvo de metal duro.



*Imagen 35. Manipulador de bidones de material.*

- **1 parking del manipulador de porta-punzones y matrices:** zona donde se deja el manipulador de matrices y porta-punzones cuando no está en uso, el cual se encarga de introducir y extraer las matrices y los porta-punzones inferiores de máquina.



*Imagen 36. Manipulador de matrices y porta-punzones inferiores.*

- **1 estación de cambio de garras:** es una pequeña zona en la que se cambian las garras del manipulador de porta-punzones y matrices dependiendo de lo que tenga que coger.





*Imagen 37. Estación de cambio de garras del manipulador de matrices y porta-punzones inferiores.*

- **1 cabina de llenado manual de polvo con báscula:** se trata de una pequeña cabina que se utiliza en los montajes monoblock, es decir, en los que el llenado del material de la matriz se hace manualmente en vez de con cargador. En esta pequeña cabina se conectan unos tubos de material que descienden directamente del bidón de material y que llenan el vaso o recipiente de llenado con la cantidad de material exigida por la báscula. Este vaso, una vez está lleno de polvo, se vierte sobre la matriz, se enrasa, y se procede a la compactación normal del polvo.



*Imagen 38. Cabina de llenado de polvo manual.*

- **1 cabina de aspiración y soplado:** se trata de una pequeña cabina en la que se soplan los posibles restos de material y de polvo de utillajes varios para evitar que se produzca una posible contaminación de piezas al utilizar utillajes que se hayan utilizado con otros materiales diferentes.



*Imagen 39. Cabina de soplado y aspiración de polvo.*

- **1 mesa de verificación de altura, peso y grietas de los anillos:** se trata de una mesa que contiene varios dispositivos: 1) tiene una báscula para verificar el peso de la pieza, 2) un instrumento de medida de la altura de los anillos, 3) un microscopio óptico para verificar las grietas, y por último 4) un ordenador que sirve para registrar la hora de inicio y de final de las preparaciones, junto con un programa para la verificación de si la pieza es buena o no a partir de la introducción de los datos de altura y peso. Además contiene parte del utillaje de vaciado de material de la prensa para los casos en que se tiene que cambiar el material vaciando el cargador del material antiguo.



*Imagen 40. Mesa de verificación de piezas.*

- **1 estantería de platos de grafito:** contiene las placas de grafito sobre las que se apoyarán las piezas que ya estén prensadas.



*Imagen 41. Piezas de metal duro apoyadas en los platos de grafito después de prensar.*

- **1 mesa principal de trabajo:** es un mueble compuesto por la pantalla principal de control numérico de la prensa en la que se modifica el programa y se introducen los principales parámetros de la pieza a prensar, cajones que contienen herramientas varias y una taladradora neumática que permite atornillar los tornillos del/de los anillo/s de cierre a una velocidad más grande que si se hiciera manualmente con una llave Allen.



*Imagen 42. Mesa principal de trabajo.*






- **1 carro con el bidón de vaciado:** consiste en un bidón en el que se tiene que vaciar el material proveniente del cargador cuando se produce el cambio de



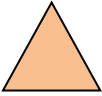
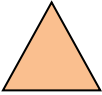




material para después devolverlo al bidón original de material. Está colocado encima de un carro que permite transportarlo y moverlo con más facilidad.



Imagen 43. Carro con bidón de vaciado.

A modo de resumen de todo el mobiliario y demás artefactos mencionados anteriormente, se presenta la siguiente tabla que contiene cada uno de estos ítems clasificados e identificados por medio de un símbolo. Para lo que servirán estos símbolos es para plasmar en una hoja un pequeño esbozo de lo que sería actualmente la distribución actual de la zona de prensado (es decir su *layout*) y poder de esta forma identificar visualmente posibles mejoras que se puedan introducir para reducir los tiempos de preparación.

ÍTEM	CANTIDAD	SÍMBOLO
Prensa manual	3	
Prensa de control numérico	1	
Cabina llenado manual	1	
Estantería con matrices y suplementos	2	
Estantería con matrices, espigas monoblock, independiente, bases y	2	

arandelas		
Estantería con matrices y porta-punzones inferiores	1	
Estantería con porta-punzones superiores y utillaje de vaciado	1	
Parking manipulador de bidones de material	1	
Parking manipulador de matrices y porta-punzones	1	
Estación de cambio de garras	1	
Estantería de platos de grafito	1	
Mesa de verificación de peso, altura y grietas, y con utillaje de vaciado + cabina de soplado	1	
Mesa principal de trabajo	1	
Carro con bidón de vaciado	1	

*Tabla 6. Listado de ítems con su símbolo asociado para representar el layout de la zona de prensas.*

Ahora que ya se tienen todos los ítems clasificados y con su símbolo asociado, se presenta el *layout* de la zona de prensas, que es el que se visualiza en la siguiente página:

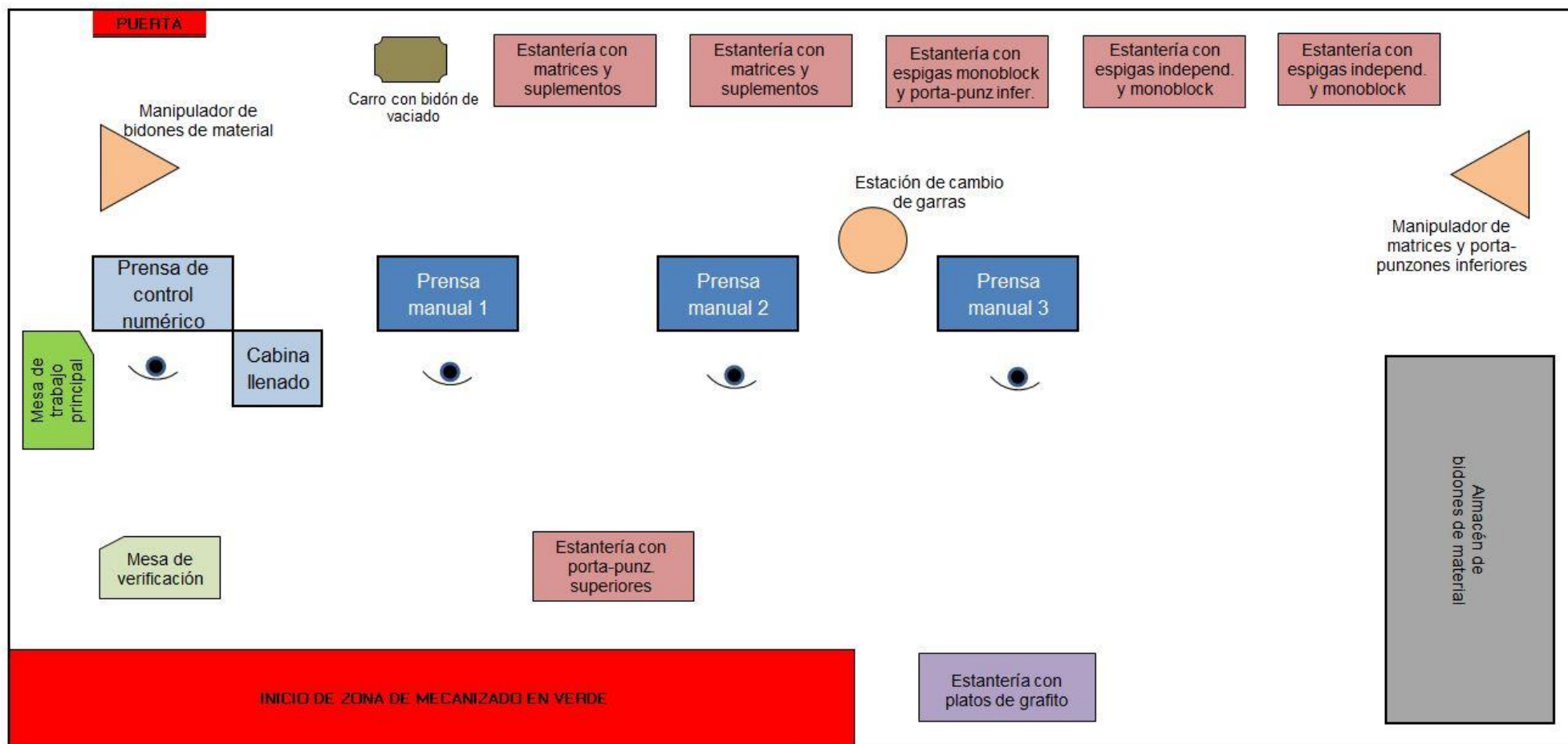


Imagen 44. Layout de la zona de prensas previo a las mejoras.

En la imagen se puede ver que se han incluido todos y cada uno de los ítems que se explicaron antes detalladamente y que aparecían resumidos en la tabla anterior. Sin embargo, además de estos ítems representados con sus símbolos respectivos, hay otro diferente que también aparece y que no ha sido explicado todavía. Es el caso del símbolo utilizado para representar a los operarios, típicamente utilizado en el ámbito de la mejora continua, y que corresponde al de la imagen siguiente:



*Imagen 45. Símbolo del operario empleado en el layout.*

El punto representaría la cabeza del operario, acompañado de la curva envolvente que formaría los brazos, todo visto desde una perspectiva vista desde arriba. El hecho de utilizar este símbolo para representar al operario permite realizar configuraciones de *layout* que requieren muchos operarios de una forma muy rápida y sencilla de dibujar, pero también ver la configuración y la posición de trabajo de los operarios al trabajar en líneas de producción más complejas. Pequeños detalles como si el operario coge la pieza de la máquina anterior con el brazo izquierdo o con el derecho (que son muy importantes cuando se diseñan estructuras de *layout* en forma de U, que son las que favorecen el *One Piece Flow*) pueden ser apreciados de una forma muy sencilla por medio de este símbolo.

Algunas de las cosas que se pueden observar en la imagen son:

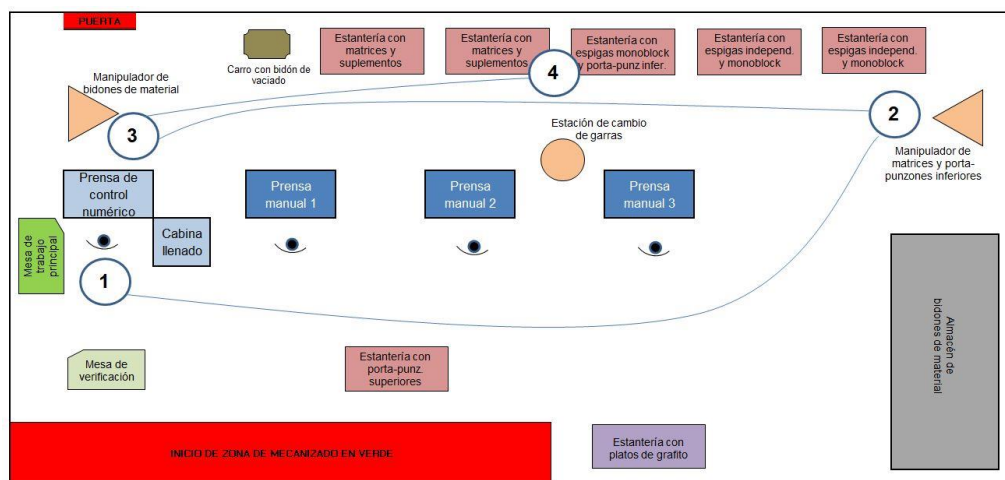
- En el área de prensado y compactación, teóricamente se trabaja con 1 operario por máquina, lo que quiere decir que salvo en algunos casos concretos, todas las máquinas estarían siempre cubiertas y no debería haber pérdidas de tiempo en las preparaciones debido a la asistencia a otras máquinas. Esto quiere decir que si en una de las prensas falta un operario, lógicamente alguno de los otros debería trabajar también con esa prensa y cubrir el puesto vacante, trabajando por tanto con 2 prensas de forma simultánea y aumentando el tiempo de preparación en su prensa significativamente (en caso de que estuviera preparando alguna orden de fabricación). Este caso, que a priori parece muy complicado que pase, con la asistencia a las preparaciones iniciales se ha visto que no es tan inusual como se piensa, dado que los operarios pueden no estar en máquina por razones muy diferentes: asistencia a otra máquina, baja,



refuerzo de otra área de productos, asistencia a formaciones, reuniones, vacaciones, incidentes no previstos, descansos... Por todos estos motivos, ésta debería ser una de las cosas a tener en cuenta al aplicar las mejoras.

- La introducción y extracción en la prensa de todos los utillajes relativamente grandes se tienen que hacer con el manipulador. Es el caso de las matrices y los porta-punzones inferiores, que son demasiado pesados para ser cargados por los operarios dado que podría afectar a su integridad física. Si se pone atención, el parking de este manipulador se encuentra en el extremo opuesto a la prensa de control numérico, hecho que hace que cada vez que se quiere cargar y descargar un utillaje de ese tipo de la prensa se tenga que ir hasta ese punto a coger el manipulador. Teniendo en cuenta que el resto de prensas utilizan generalmente utillajes más pequeños que no requieren tanto el uso del manipulador, debería considerarse como mejora el poder acercar el manipulador un poco más a la prensa de control numérico.

A continuación se muestra todo el recorrido que ha de hacer el operario para poder sacar tanto la matriz como el porta-punzón inferior de la prensa semiautomática, para que se pueda apreciar la gran distancia que se ha de recorrer en este proceso, y en consecuencia el tiempo que se pierde al realizarlo.



*Imagen 46. Pasos a seguir por el operario en el desmontaje de una matriz o un porta-punzón inferior.*

El proceso sería el siguiente: en primer lugar el operario debería abrir la puerta trasera de la prensa, para poder introducir por ahí el manipulador. Después debería ir al parking del manipulador de matrices y porta-punzones inferiores



para acercar el manipulador hasta la prensa; después extraer el utillaje que corresponda, y por último llevarlo a su estantería correspondiente dependiendo de lo que sea. Como se puede ver, es un recorrido muy largo y más si cabe teniendo en cuenta que la velocidad a la que se desplaza el manipulador está limitada para evitar accidentes. Es una operación que como se verá más adelante consume varios minutos de las preparaciones, por lo que podría ser un posible punto de mejora sobre el que actuar.

De la misma forma que sucede con el desmontaje, ocurre con el montaje de la matriz y del porta-punzón inferior. A continuación se muestran nuevamente los pasos que se siguen:

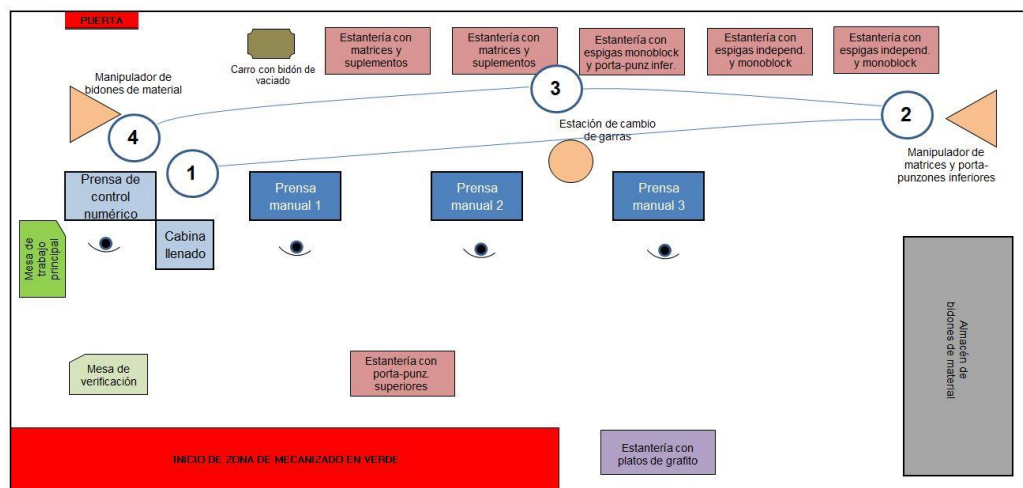


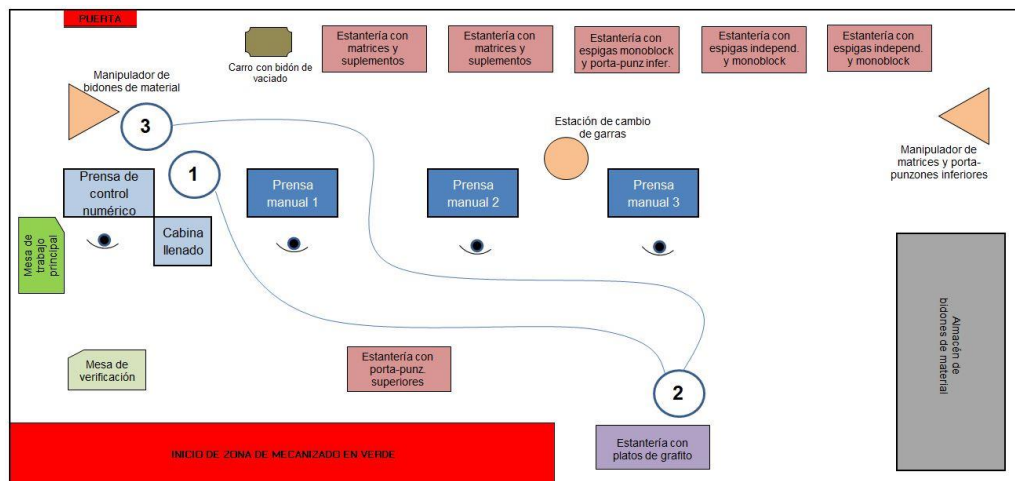
Imagen 47. Pasos a seguir por el operario al montar una matriz o un porta-punzón inferior.

Lo primero que haría el operario sería abrir la puerta trasera de la prensa para poder extraer el utillaje de máquina. A continuación iría a por el manipulador y cogería de la estantería el utillaje correspondiente y lo introduciría en la prensa. Igual que en el caso del desmontaje, se puede ver que aquí también se tiene algo de margen para mejorar el proceso.

- De la misma manera que sucede con el parking del manipulador, se podría decir también de las estanterías que contienen los utillajes, cuya aproximación a máquina haría más corto el desplazamiento que ha de realizar el manipulador hasta ella.
- La estantería de los porta-punzones superiores no está todo lo cerca que podría

de la máquina, y más teniendo en cuenta que para el traslado de éstos a máquina y viceversa no hay implantado un manipulador, dado que algunos de ellos empiezan a ser de gran envergadura y dificulta su transporte manual. De la misma manera que con los manipuladores, modificando un poco su distribución en planta se podría llegar a reducir los tiempos que tarda el operario en ir a buscarlos y/o depositarlos, pero no sólo eso, sino que también se mejoraría el tema de la ergonomía del trabajador.

- Respecto al tema de los platos de grafito, es otro punto también que es susceptible de mejora con respecto a su ubicación. El motivo principal por el que los platos de grafito están ubicados ahí es porque se trata de unos recursos que también se comparten con la zona de mecanizado en verde, pero esto provoca que cada vez que se vayan a empezar a prensar las piezas, el operario tenga que ir hasta esa zona con un carro a buscar todas las placas de grafito necesarias para su orden de fabricación. Se tendrá que buscar la manera de intentar reducir el desplazamiento que éste realice, dado que nuevamente, como se verá más adelante, es una operación de poca importancia, pero que consume mucho tiempo de la preparación. A continuación se muestran los pasos que se siguen:



*Imagen 48. Pasos a seguir por el operario al ir a buscar los platos de grafito.*

- A la hora de cambiar el material de prensa, se tienen que hacer varias cosas: lo primero de todo, ir a buscar el bidón de nuevo material que se va a prensar al almacén de polvo, que se encuentra bastante lejos de la prensa. El problema de este almacén es que es muy grande, y se trata de una zona que no se puede

desplazar como se quiere hacer por ejemplo con las estanterías, por lo que en este sentido este tiempo de recorrido no se podrá recortar. A continuación, y una vez ya se ha montado la prensa para la orden de fabricación, se descuelga el bidón de material de máquina con el manipulador, que como se puede ver tiene una ubicación muy buena al lado de máquina, se cuelga el nuevo bidón de material, y por último se lleva el bidón antiguo nuevamente al almacén, haciendo que se pierda nuevamente una cantidad considerable de tiempo en el desplazamiento. Más adelante, se pensarán posibles soluciones para solventar este problema, teniendo en cuenta que el almacén no se puede mover de su sitio.

A continuación se muestran los pasos que se siguen tanto cuando se va a buscar el bidón de nuevo material al almacén para traerlo a máquina, como para dejar el bidón antiguo:

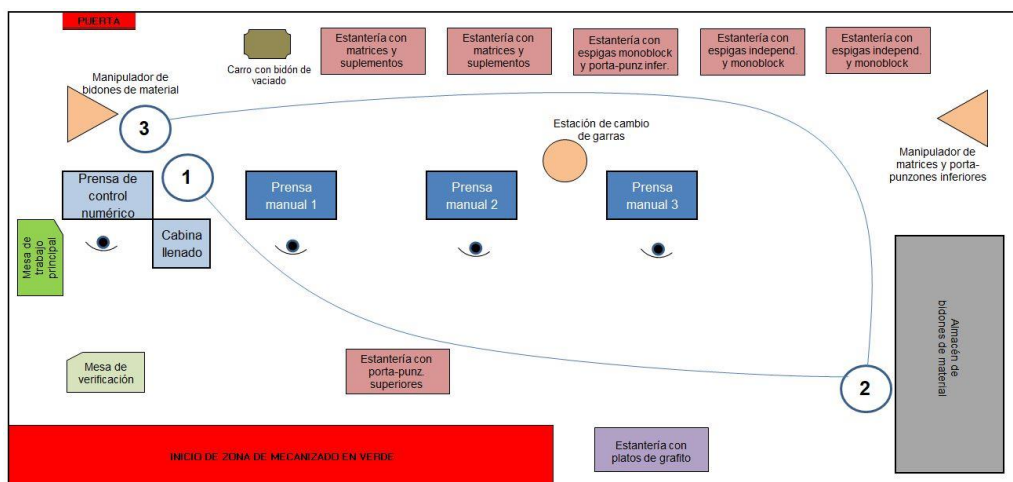


Imagen 49. Pasos a seguir por el operario al ir a buscar un bidón de material.

En el caso de búsqueda del material, lo que se hace es salir con un carro de la prensa, ir hasta el almacén y cargar el bidón en el carro, y después volver a prensa para ya ir a colgar el bidón en máquina. En el caso de ir a dejar el bidón antiguo de material, se siguen los mismos pasos, con la diferencia de que en la ida el carro va cargado con el bidón de material antiguo, y en la vuelta el carro vuelve vacío.

El resto de mobiliario que no se ha mencionado, como es el caso de la mesa principal de trabajo, la mesa de verificación... se considera que no están en una posición tan poco optimizada como los otros ítems, por lo que algunas de las mejoras se centrarán

básicamente en aquellos puntos que se consideran más críticos y que se han mencionado antes.

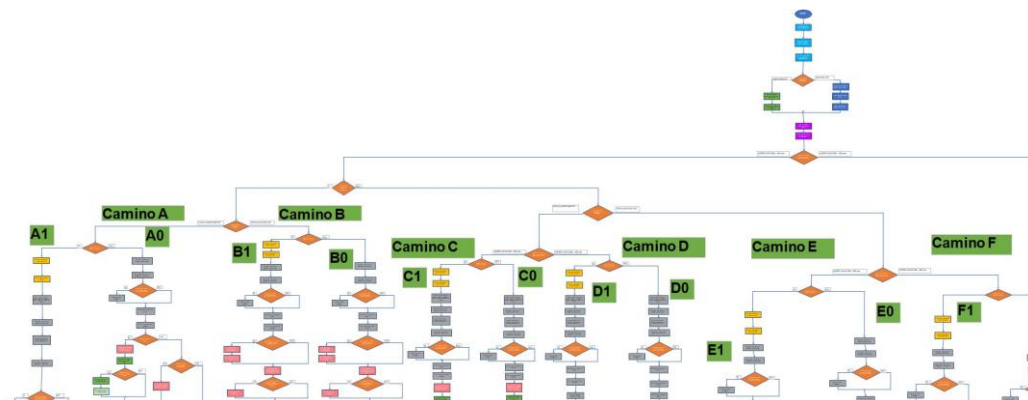
#### D) DIAGRAMA DE FLUJO

Ahora que se tiene clara la disposición que tiene la planta, los pasos que hay que seguir para realizar según qué operaciones y los utillajes y su funcionalidad respectiva, llega el momento de agrupar todos estos conocimientos en un único documento que sea capaz de plasmar toda esta información de una manera sencilla y muy visual, para poder así después tomar los tiempos y realizar las mejoras en base a éste. Para ello, se ha optado por realizar un **diagrama de flujo** de todos los tipos de preparaciones que existen, de forma que nos permita visualizar todos los posibles caminos que existen cuando se está preparando la prensa. Las ventajas que ofrece el utilizar un diagrama de flujo para las preparaciones son muchas:

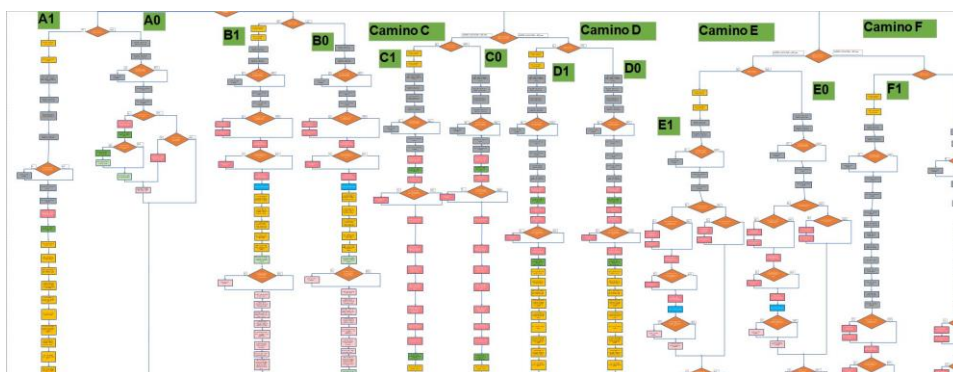
- En primer lugar, se trata de una herramienta muy fácil, sencilla e intuitiva de utilizar. Es uno de los pilares básicos en la filosofía del *Lean Manufacturing*, en el sentido de que en prácticamente todas las herramientas siempre se acaba utilizando algún diagrama de flujo de una manera más o menos directa debido a su polivalencia y simplicidad de uso.
- Permite visualizar todas las posibilidades de preparaciones que existen, teniendo en cuenta no sólo las operaciones que se realizan, sino también su orden, los utillajes que se utilizan y también el camino (en el contexto del *layout*) que está realizando el operario en cada operación
- Otra de las cosas positivas que aporta el estudiar las preparaciones mediante un diagrama de flujo, es que permite la posibilidad de segmentar y clasificar las operaciones que se siguen en función de varios bloques. Es decir, que un grupo de pequeñas operaciones que en el fondo forman parte de una macro-operación se pueden categorizar como parte de ésta. En este caso, se ha optado por pintar todas aquellas operaciones que formen parte de un grupo de un mismo color, para así poder identificar el grupo al que pertenecen de una forma más rápida y visual.
- Por último, destacar que otra de las ventajas que presenta el realizar un diagrama de flujo es que se trata de un diagrama vivo, es decir, que se puede ir actualizando y modificando a medida que van apareciendo cambios en su

estructura, cosa que no es tan habitual en otras herramientas. En este proyecto se han realizado cientos de modificaciones en la estructura, ya sea porque el orden de las operaciones que se había establecido después se veía en la preparación o en reuniones con el equipo de trabajo que no era el real, o porque los procedimientos para realizar una determinada operación habían cambiado. Si se hubiera optado por alguna otra herramienta que no permitiera esta actualización de los datos, hubiera sido muy complejo el poder analizar correctamente las preparaciones.

A pesar de ser una herramienta sencilla y no muy difícil de aplicar, la complejidad y el elevado número de preparaciones diferentes que presenta la máquina han hecho que el diagrama de flujo final se convierta en una herramienta no tan fácil para trabajar. Para que el lector pueda hacerse una idea de este diagrama de flujo, se adjuntan a continuación algunas imágenes de los caminos del diagrama definitivo, que incluye absolutamente todos los caminos y tipos de preparaciones posibles:



*Imagen 50. Primera parte del diagrama de flujo.*



*Imagen 51. Segunda parte del diagrama de flujo.*

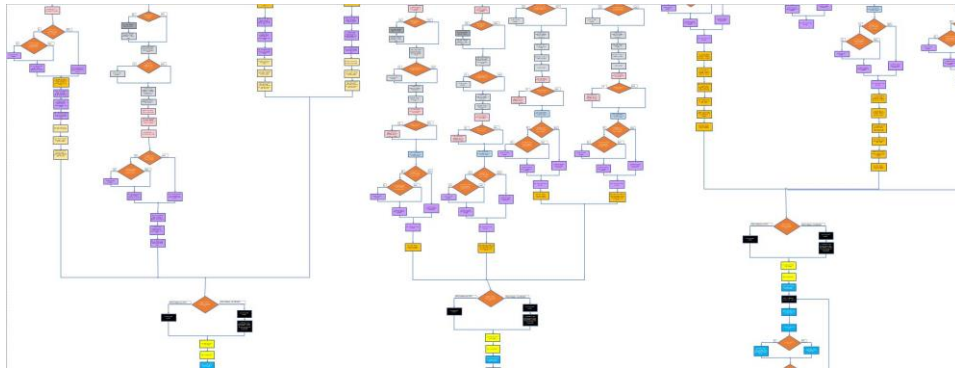


Imagen 52. Tercera parte del diagrama de flujo.

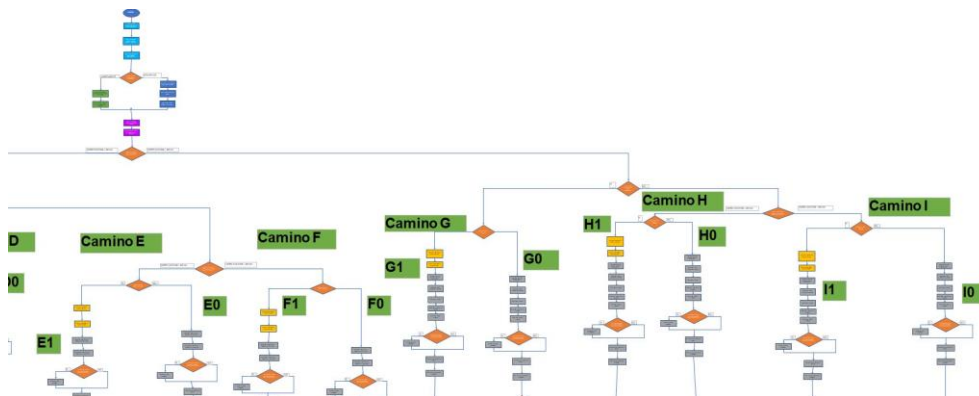


Imagen 53. Cuarta parte del diagrama de flujo.

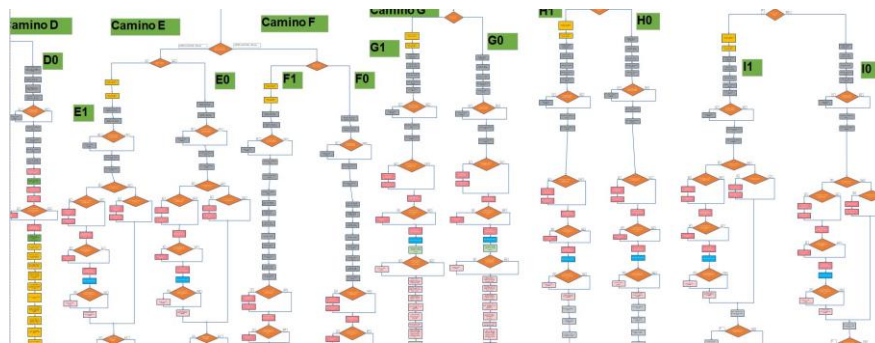
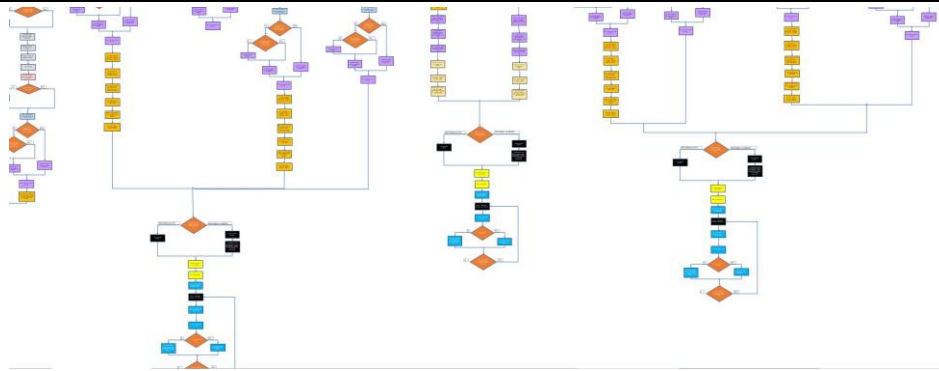


Imagen 54. Quinta parte del diagrama de flujo.





I  
m  
a  
g  
e  
n

55. Sexta parte del diagrama de flujo.

Tal y como se puede apreciar en las imágenes, la cantidad de caminos y posibilidades es inmensa, llegándose a contar hasta un total de 16 tipos de preparaciones diferentes, y cada una de ellas con posibles variantes dentro de su proceso. Cada una de estas preparaciones está codificada con una letra que va de la A a la I, seguida de un número que puede ser el 0 o el 1.

La letra se asocia en cada preparación en función de una serie de parámetros, parecidos a los que se decidió apuntar en la plantilla inicial de toma de datos: **1) diámetro de la matriz que hay montada** (que puede ser inferior a 400 mm o igual a 400 mm), **2) diámetro de la matriz a montar** (que puede ser inferior a 400 mm o igual a 400 mm), **3) tipo de espiga montada** (independiente o monoblock) y **4) tipo de espiga a montar** (independiente o monoblock). Esto es así porque a raíz de la asistencia a las preparaciones se observó que éstas no dependían única y exclusivamente de lo que se iba a montar sino que también tenía mucha importancia lo que había ya en máquina y se tenía que desmontar. Cabe destacar que el desmontaje de la orden de fabricación anterior también se tiene que incluir en las preparaciones, porque si se recuerda, la definición de preparación era todo el conjunto de operaciones que se realizan desde que se termina de fabricar la serie de piezas del pedido anterior hasta que se obtiene la primera pieza buena para trabajar en serie del pedido nuevo. Con respecto al por qué se ha diferenciado entre matrices menores de 400 mm y de 400 mm es debido a que hay algunas diferencias significativas entre unos y otros tipos de preparación. En el caso de los montajes y desmontajes de matrices de 400 mm se tienen que desmontar algunos elementos de la mesa porta-matriz, el sistema de aspiración de polvo y demás elementos, cosa que con las matrices menores de 400 mm no pasa. Por el contrario, en el caso del montaje o desmontaje de matrices pequeñas, intervienen más anillos de cierre y adaptadores que en el otro, por lo que las operaciones no son exactamente

iguales. Por último, con respecto al porqué de la diferenciación entre espiga monoblock e independiente, estaba claro que se tenían que diferenciar unas preparaciones de otras dado que son intrínsecamente distintas; en una el llenado y enrasado se hace automáticamente, mientras que en otra la hace el operario manualmente; y no solo eso, sino que muchos de los utillajes utilizados además de la espiga cambian también, tal y como se explicó anteriormente.

El número asociado que va después de la letra en cada camino, indica si se tiene que **cambiar el material** con respecto a la orden de fabricación anterior, siendo un 1 si es que sí, y 0 en caso contrario.

A partir de esta codificación letra – número se ha conseguido obtener un total de 16 preparaciones, y a continuación se mostrará una pequeña tabla resumen en la que se explican los diferentes códigos de cada preparación en función de las características mencionadas anteriormente:

Ø matriz montada	Espiga montada	Ø matriz a montar	Espiga a montar	¿Cambio de material?	Código preparación
< 400 mm	Independiente	< 400 mm	Independiente	Sí	A1
< 400 mm	Independiente	< 400 mm	Independiente	No	A0
< 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Independiente	Sí	B1
< 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Independiente	No	B0
< 400 mm	Independiente	< 400 mm	Monoblock	Sí	C1
< 400 mm	Independiente	< 400 mm	Monoblock	No	C0
< 400 mm	Independiente	= 400 mm	Monoblock	Sí	D1
< 400 mm	Independiente	= 400 mm	Monoblock	No	D0
< 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Monoblock	Sí	E1
< 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Monoblock	No	E0



< 400 mm	Monoblock	= 400 mm	Monoblock	Sí	F1
< 400 mm	Monoblock	= 400 mm	Monoblock	No	F0
= 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Independiente	Sí	G1
= 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Independiente	No	G0
= 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Monoblock	Sí	H1
= 400 mm	Monoblock	< 400 mm	Monoblock	No	H0
= 400 mm	Monoblock	= 400 mm	Monoblock	Sí	I1
= 400 mm	Monoblock	= 400 mm	Monoblock	No	I0

*Tabla 7. Tipos de preparaciones existentes en prensa semiautomática, codificadas.*

Si se pone atención en la tabla, se puede ver que hay más tipos de preparaciones de tipo monoblock que independiente. Esto se debe básicamente a que todas las matrices que existen para espiga independiente son de diámetro inferior a los 400 mm, mientras que en el caso de las monoblock, se pueden tener tanto matrices grandes de 400 mm como inferiores, aumentando de esta forma las posibilidades de hacer una preparación monoblock.

Como se ha visto en la tabla, hay muchos tipos de preparaciones diferentes, hecho que hace que si se quisieran aplicar herramientas de mejora en todas ellas de forma directa sería un proyecto demasiado complejo y largo. Es por este motivo que se ha decidido mejorar únicamente 2 caminos: el **camino más recurrente**, es decir, el que supone el porcentaje más elevado de las preparaciones, y el **camino más complejo**, es decir, el que tiene un número de operaciones más grandes y que probablemente en consecuencia sea la preparación más larga de todas. La elección de actuar sobre la preparación más común parece clara, y es que mejorando la preparación que más veces tiene lugar en la prensa, se conseguirá reducir la media de tiempos de preparación en un porcentaje relativamente alto. Con respecto al camino más complejo, se piensa que si se logra mejorar significativamente la preparación más difícil de todas por número de operaciones y por tiempos de duración, será mucho más fácil pensar en

mejoras futuras para preparaciones que sean más simples.

De esta forma, aunque no se actúe directamente sobre todos y cada uno de los caminos que componen el diagrama, analizando y mejorando únicamente estos 2 se obtendrán mejoras implícitamente también en el resto de caminos, dado que aunque sean preparaciones diferentes, comparten un gran número de operaciones.

Las preparaciones sobre las que se actuará, por tanto, serán la **E0**, que es la que más veces tiene lugar en la prensa, y que consiste en un cambio de matriz pequeña a otra matriz pequeña usando en ambos casos espiga monoblock, sin cambiar el material; y la **D1**, que es la más compleja, y que consiste en el paso de una matriz pequeña con espiga independiente a montar una matriz de 400 mm de espiga monoblock, y con cambio de material.

Lo que se hará a continuación es mostrar los pequeños diagramas de flujo que siguen cada una de estas 2 preparaciones, y después explicar de forma breve cada una de ellas para así poder ver cómo se llevan a cabo todos los procesos para después mejorarlos. En la siguiente página se muestra la preparación **E0**:



Diagrama 1. Diagrama de flujo de la preparación E0 antes de las mejoras.

Tal y como se puede apreciar en el diagrama, hay bloques de diferentes colores, pero también de varias formas. Los bloques de diferentes colores son así porque cada uno de ellos son operaciones que forman parte de un proceso más grande. Un ejemplo de esto son las 3 operaciones que aparecen de color gris oscuro, las cuales forman parte del proceso “Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas”. Con respecto a la forma de los bloques, es muy sencillo: los bloques con forma rectangular son operaciones, y los bloques con forma de rombo son preguntas a las que se responde con “Sí” o “No”, y en función de la respuesta se hacen unas operaciones u otras. Para tener clara la codificación de colores, se incluye en el anexo una pequeña tabla resumen en que aparecen las operaciones principales con su color asociado.

Si se pone atención ahora en el diagrama, se puede ver que lo primero que se hace en la preparación es ficharla en el ordenador para que empiece a contabilizar el tiempo, e imprimir toda la documentación acerca de la orden de fabricación, en la cual se incluyen algunas instrucciones como los utillajes que se tienen que utilizar, los parámetros de prensado que se han de incluir en el programa, características de la pieza que se quieren obtener...etc. Después de esto, lo que se hace es retirar de máquina todos aquellos accesorios que se estaban utilizando en la prensa trabajando en serie en el pedido anterior, es decir, cuando se estaban ya prensando todas las piezas. En este paso se retiran todas las herramientas como pueden ser el pincel de eliminar rebabas de las piezas o el enrasador de polvo, entre otros. Tras esto, para evitar una posible mezcla de materiales entre el polvo de la orden anterior y el de la nueva, y también por un tema de mantenimiento de la prensa para evitar que se gripen los utillajes, se aspira su interior exhaustivamente.

Tras esto ya comienza la fase de desmontaje de utillajes, en la que lo primero que se hace es retirar la espiga monoblock junto con su base a la que está roscada, y sus arandelas. Se limpian a conciencia, y después se llevan a su estantería correspondiente, haciendo el recorrido pertinente que se mostró en el apartado del *layout*. El siguiente paso consiste en descollar el porta-punzón superior de la prensa, colocando previamente unos tacos de nylon para evitar que el porta-punzón de acero impacte directamente contra la mesa porta-matriz en el momento de soltar las garras hidráulicas que lo sujetan, y por último, se lleva a la estantería.

Con estos utillajes desmontados, se procede al desmontaje y limpieza de la matriz, sacando previamente de máquina el anillo de cierre que la fija, y cambiando las garras

del manipulador en caso de que sea necesario. Una vez fuera de prensa, se lleva con el manipulador a su estantería correspondiente.



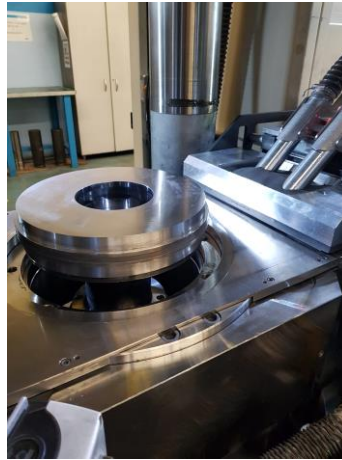
*Imagen 56. Manipulador transportando una matriz.*

Tras esto, hay que mirar si para la nueva matriz que se va a utilizar sirve el porta-punzón que hay montado en máquina o si por el contrario se tiene que cambiar. Si el porta-punzón ya es el correcto se pueden ahorrar tiempos de desmontaje y montaje del nuevo. Lo único que habría que mirar es si, al ser espiga monoblock, hace falta retirar suplementos en caso de que hubiera alguno montado en el porta-punzón. En caso de realizar todo el proceso se tendrían que quitar los suplementos del porta-punzón en caso de que hubiera, retirar el porta-punzón y llevarlo a su estantería correspondiente e introducir el nuevo en máquina. Además de esto, podría haber cambio de garras a la hora de introducir o extraer el porta-punzón en máquina en caso de que las montadas no valieran, que añadiría más tiempo también si cabe a la preparación.



*Imagen 57. Manipulador transportando un porta-punzón inferior.*

Con el porta-punzón indicado, se cambia en caso de que sea necesario el anillo adaptador de máquina para que se pueda acoplar bien la matriz a la mesa, se introduce la matriz y se fija el anillo de cierre de ésta.



*Imagen 58. Matriz en proceso de introducción en la mesa porta-matriz.*

Lo que toca a continuación es centrar el porta-punzón inferior con respecto a la matriz, y añadir los suplementos en el porta-punzón en caso de que sea necesario añadirlos para el prensado. Tras esto, se introduce la espiga monoblock montada junto con su base y las arandelas, y también el porta-punzón superior, trayendo ambos elementos de sus estanterías respectivas. De la misma manera que con el inferior, se centra también el porta-punzón superior y se colla con las garras hidráulicas, dejando la prensa ya lista para prensar a nivel de montaje de utillajes.

Una vez terminada la fase de montaje se inicia la fase de programación y referencia de utillajes. Lo primero que se hace es mirar si hay algún programa en la prensa creado para esa orden de fabricación concreta o si hay alguno parecido que pueda servir, y en caso de que no sea así se procede a crear uno completamente de cero. Tras esto, se lleva a cabo el proceso de referenciar los utillajes, más conocido popularmente como “hacer los ceros”, que consiste básicamente en referenciar la posición a la que se encuentran la espiga, el porta-punzón superior y el inferior con respecto a la matriz a partir de un reloj comparador y una cala:



*Imagen 59. Instrumentos de hacer ceros/referenciar utillajes: reloj comparador y cala.*



*Imagen 59. Proceso de referencia de utillajes.*

Después de hacer los ceros, se van a buscar los platos de grafito para apoyar las piezas prensadas, completando todo el recorrido que se explicó en el apartado de *layout*. Se trata de una operación de una importancia muy baja, y que sin embargo representa una cierta cantidad de minutos que se podrían reducir de formas muy sencillas.

Por último, se terminan de fijar los últimos parámetros del programa de prensado, y se van prensando piezas hasta acabar obteniendo la pieza que esté dentro de las tolerancias requeridas para empezar a trabajar en serie, dado que una pieza puede estar dentro del intervalo de tolerancia exigido por el cliente, pero no tener la medida y peso adecuados como para empezar a producir en serie.





Imagen 60. Cabina de llenado con recipiente lleno de polvo.

Como se puede haber notado, para esta preparación tan sencilla y fácil de llevar a cabo se han de realizar un número muy grande de desplazamientos, hecho que hace que un gran porcentaje del tiempo de preparación sea debido únicamente al transporte o búsqueda de un tipo de utillajes muy concretos. Y en este caso no se ha realizado el cambio de material, pero si se realizara se tendría que contar también los viajes de ida y de vuelta para dejar el bidón de antiguo material y para buscar el nuevo, hecho que aumentaría todavía más los tiempos destinados a transporte y movimientos, que si se recuerda eran 2 de los principales despilfarros del *Lean Manufacturing*. Para ejemplificar claramente la pérdida de tiempo que se produce, se presenta a continuación el *layout* con los movimientos efectuados por el operario de la prensa resultante que se obtiene al realizar esta preparación:

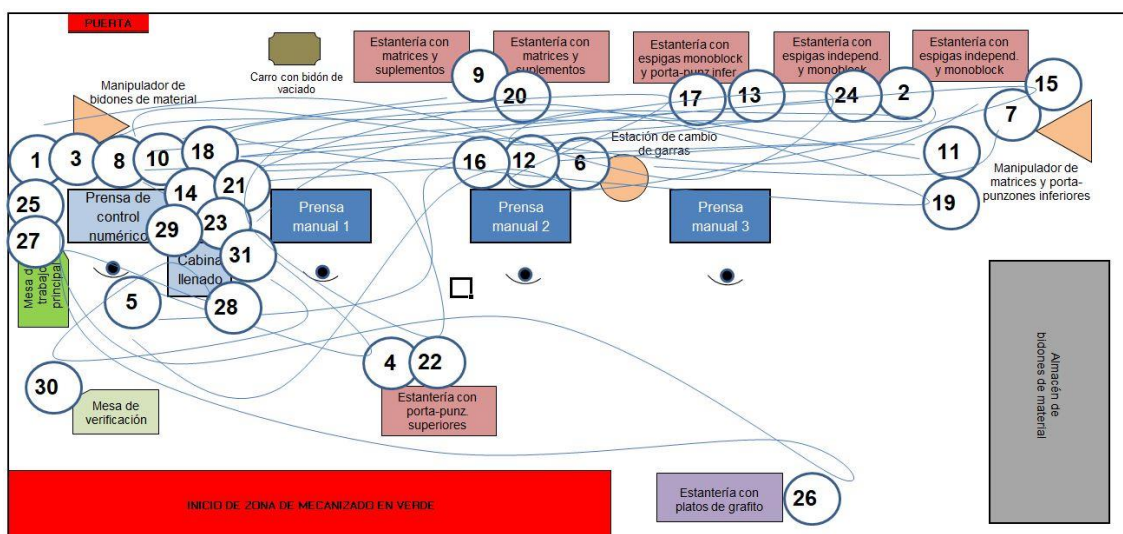


Imagen 61. Pasos a seguir por el operario en la preparación E0.



En el diagrama no se puede apreciar nada, debido al elevado número de caminos y trayectorias que se realizan durante la preparación, y esto es justamente lo que se buscaba. Este tipo de diagramas se denominan diagrama de *spaguetti*, y su función básica es mostrar y documentar de una forma muy fácil y visual todos los desperdicios debidos al transporte o movimientos que se producen en un proceso determinado, y que impiden visualizar unos movimientos claros del trabajador.

Una vez vista la gran cantidad de despilfarros que se producen en esta preparación, y el margen de mejora que hay, se presentará en la siguiente página el diagrama de flujo de la otra preparación, que es la más complicada de todas, que como se puede imaginar presentará un diagrama de *spaguetti* todavía más difícil de interpretar si cabe:

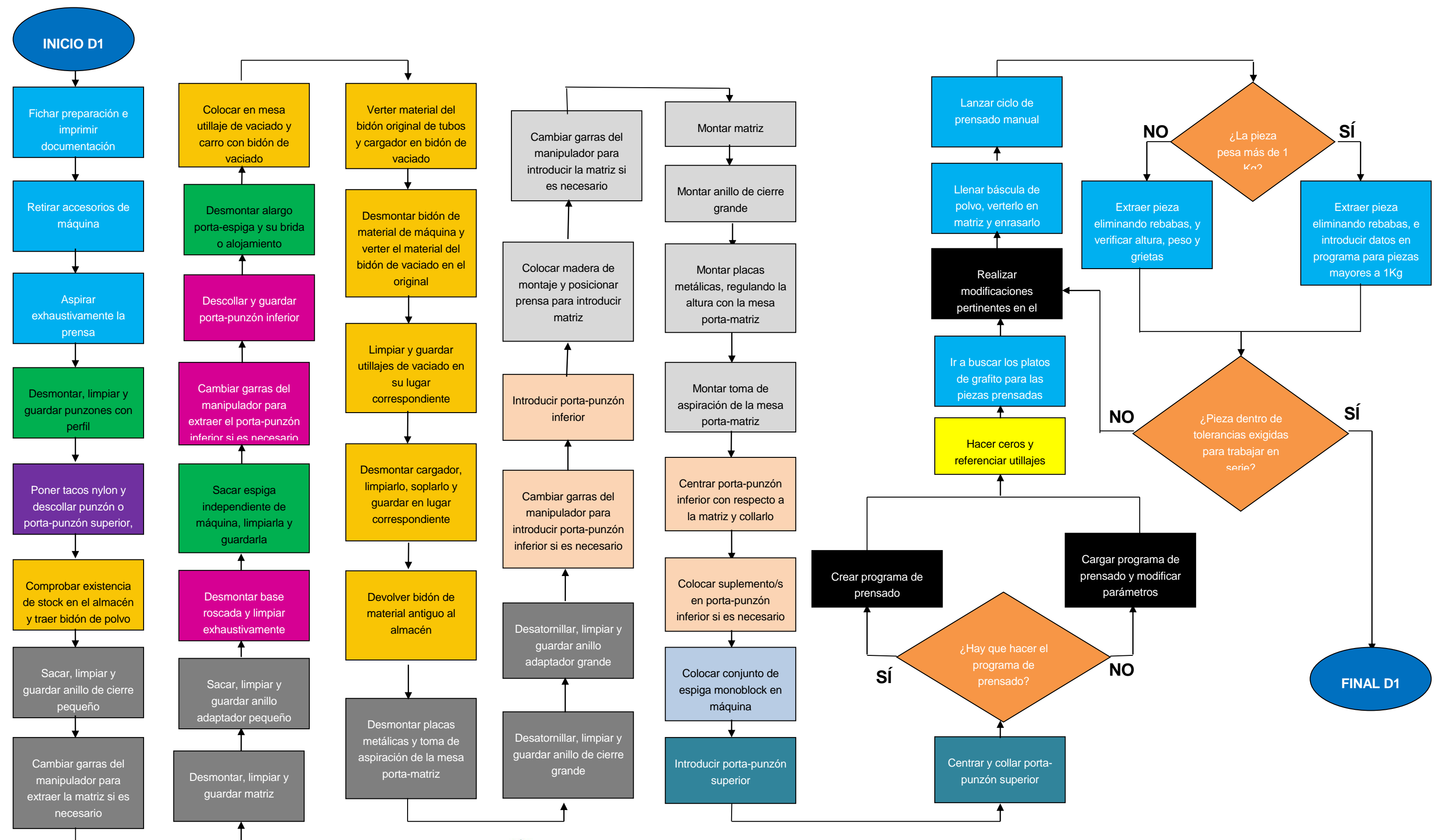


Diagrama 2. Diagrama de flujo de la preparación D1 antes de las mejoras.

El diagrama de flujo de esta preparación comparado con la anterior es un poco más complejo, más que nada debido a que en este caso el número de operaciones que se han de realizar es significativamente superior. De la misma manera que comenzaba la otra preparación, y como lo hacen todo el resto de ellas, lo primero que se hace es ficharla en el ordenador e imprimir la documentación asociada, además de retirar los accesorios de máquina y aspirar la prensa con profundidad.

El siguiente paso es desenroscar los punzones con perfil del porta-punzón superior y del inferior, dado que lo que se va a desmontar es una espiga independiente y poseen este tipo de punzones en vez de las arandelas como sucede en la monoblock. Después de esto se descolla y se guarda el porta-punzón superior guardándolo en su estantería correspondiente.

A continuación, se verifica que haya material suficiente en el almacén de polvo para llevar a cabo la orden de fabricación que se está preparando, dado que de no ser así podría darse el caso de que se montara la prensa y después no se pudiera producir por falta de material. Tras la verificación se va con un carro al almacén de material y se trae el bidón a pie de máquina.



*Imagen 61. Carro con bidón de material listo para ser transportado.*

Después, se lleva a cabo todo el desmontaje de la matriz y sus elementos: se desmonta, limpia y guarda el anillo de cierre pequeño, la matriz y el anillo adaptador. En este caso tanto el anillo adaptador como el anillo pequeño no volverán a montarse en máquina debido a que se va a montar una matriz grande de 400 mm y no requiere de estos utillajes. Tras esto, llega el momento de desmontar toda la parte del utillaje de espiga independiente, empezando por desmontar la base roscada, que si se recuerda era el elemento que unía el porta-punzón inferior con el punzón inferior en los casos de montaje con espiga independiente.



*Imagen 62. Proceso de desmontaje de la base roscada del porta-punzón inferior de la espiga independiente.*

Tras esto se retira la espiga independiente, se saca y se guarda el porta-punzón inferior, cambiando las garras del manipulador si es necesario, y se desmonta el largo porta-espiga y su brida de sujeción montada en su parte superior.

Con la prensa prácticamente desmontada, queda ahora desmontar el cargador y vaciar el material restante que queda en su interior y en sus tubos de llenado, además de desmontar el bidón de material. Para ello se hará uso del utillaje de vaciado, que consiste básicamente en un bidón vacío en el interior del cual se verterá todo el material presente aun en el interior del cargador y en los tubos, a través de un embudo que hace que baje el polvo hasta el bidón por gravedad:



*Imagen 63. Carro con bidón de vaciado siendo girado mediante el manipulador de bidones.*

Tras este paso, se descuelga ahora el bidón de material de la máquina por medio del manipulador de bidones presente junto a la prensa, y se devuelve todo el material

recogido con el bidón de vaciado al original mediante un tubo que conecta ambos bidones:



*Imagen 64. Uno de los operarios expertos de prensas realizando la devolución de material del bidón de vaciado al bidón original.*

Una vez finalizado todo el proceso de vaciado y vuelta del material a su bidón se limpia todo el utillaje utilizado (bidón de vaciado, embudo...) en la cabina de aspiración y soplado, limpiando y desmontando también al cargador y cada uno de sus elementos (zapata, tubos de llenado, plataforma de movimiento...):



*Imagen 65. Cabina de soplado lista para limpiar la zapata y tubos de llenado del cargador.*

Además, se desmonta la toma de aspiración de la mesa porta-matriz, dado que la matriz que se va a montar es la grande, y es necesario retirar hasta las placas metálicas de la mesa. Entre estos dos pasos, o incluso después de ello, se devuelve el bidón de material utilizado en la orden anterior al almacén de material.

Una vez terminado todo el proceso de desmontaje de cargador y vaciado de material, se termina el desmontaje de la prensa: se retiran, limpian y guardan el anillo de cierre y el anillo adaptador grandes que se encuentran bajo las placas de la prensa, y que son necesarios retirar también para poder montar la matriz grande.

Ahora toca volver a montar la prensa, procediendo de la misma manera que se vió para la preparación **E0**. En primer lugar se introduce porta-punzón inferior adecuado, cambiando previamente en caso necesario las garras del manipulador, se introduce la matriz grande también con el manipulador (y cambiando garras también en caso necesario), y se sella con el anillo de cierre grande que antes estaba montado bajo las placas metálicas de la mesa porta-matriz. Ahora se montan dichas placas encima, se vuelve a colocar el sistema de aspiración que iba montado encima de las placas, y se termina de centrar el porta-punzón inferior con respecto a la matriz para evitar problemas a la hora de prensar las piezas. En último lugar, se coge y se monta en máquina el conjunto espiga monoblock – base – arandelas en máquina, y se coloca, centra y colla el porta-punzón superior.

Los últimos pasos corresponden a la fase de programación, búsqueda de platos de grafito para colocar las piezas prensadas... y son exactamente los mismos que en la preparación explicada anteriormente, por lo que se omitirá su explicación nuevamente.

Una vez vista toda la preparación, se muestra ahora el diagrama de *spaguetti* correspondiente:

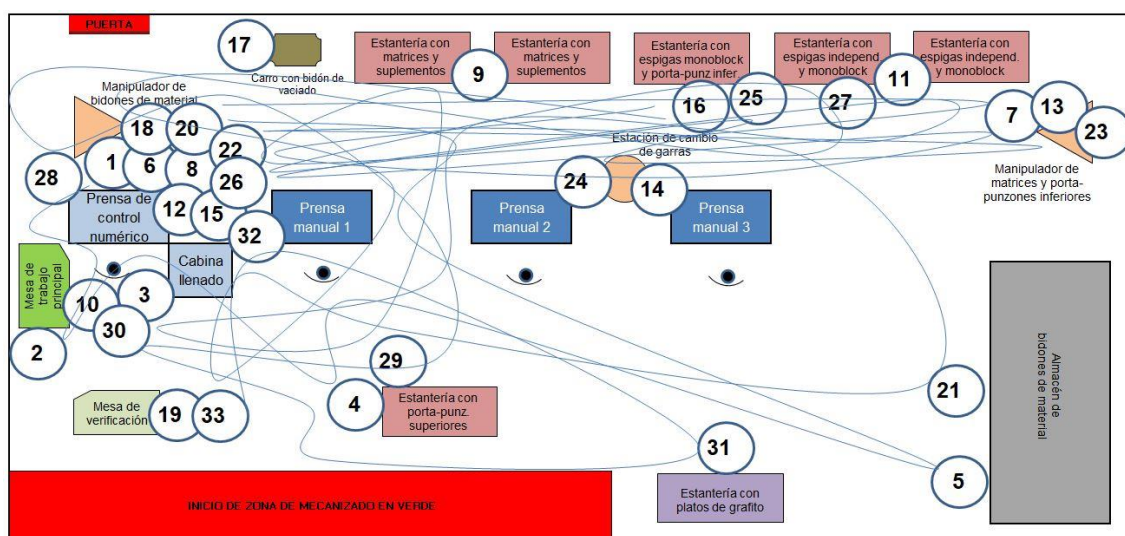


Imagen 66. Pasos a seguir por el operario durante la preparación D1.

En este caso nuevamente se puede ver que los desplazamientos que ha de hacer el operario son muchos, y que esto genera unas pérdidas de tiempo en las preparaciones que se traducen en un despilfarro que no aporta ningún tipo de valor en la cadena de producción de los anillos.



### 6.1.1.2. Medición

#### E) DISEÑO DE LA PLANTILLA FINAL Y RECOGIDA DE TIEMPOS

Ahora que se considera que la parte de investigación ha finalizado, toca comenzar a explicar la parte de medición, que es la última parte de las 2 que componen la primera fase del SMED. En la parte de investigación, lo que se ha intentado es comprender al máximo posible el funcionamiento de la prensa y de sus preparaciones, y para ello se ha llevado a cabo un exhaustivo estudio de sus utillajes, sus procesos, su *layout* y su diagrama de flujo. Con todos los pasos y procesos claros lo que toca en esta nueva etapa es redefinir una plantilla de datos para así poder apuntar los tiempos de cada una de estas operaciones que se han definido en los diagramas de flujo anteriores. Algunas imágenes de la plantilla finalmente diseñada se muestran a continuación:

HYPERION Materiales & Technologies		PLANTILLA DE TOMA DE TIEMPOS DE PREPARACIONES PARA PRENSA SEMIAUTOMÁTICA																
PROCESO DE LA PREPARACIÓN	OPERACIÓN	09/10/2019	E0	10/10/2019	D1	10/10/2019	E0	10/10/2019	E0	10/10/2019	E0	10/10/2019	D1	10/10/2019	D1	10/10/2019	E0	MEDIA
		Nº OF: 0000220950 09.32 - 10.44		Nº OF: 0000232986 08.06 - 10.27		Nº OF: 0000230851 09.10 - 10.16		Nº OF: 0000233041 09.23 - 10.17		Nº OF: 0000233043 11.42 - 12.57		Nº OF: 0000232986 08.03 - 10.28		Nº OF: 0000232986 14.32 - 16.53		Nº OF: 0000233044 15.12 - 16.07		
OTRAS	Filtra preparación e imprimir documentación	*		42"		30"		45"		29"		30"		25"		29"		33"
	Realizar preparaciones de máquinas	44"		47"		47"		48"		49"		50"		45"		1'		49"
	Aplicar exhaustivamente la prensa	1'		1' 03"		1' 02"		1' 11"		54"		55"		59"		1'		1'
	Revisar los plásticos de salida para los procesos finalizados	6' 09"		4' 04"		4' 14"		3' 34"		7' 01"		5' 45"		3' 47"		5' 19"		5'
	Llevar bloques de pulido, ventosa en mano y vacuado	2' 40"		2' 59"		3' 10"		2' 32"		4' 41"		1' 58"		2' 29"		2' 45"		2' 52"
	Llevar cinta de protección manual	30"		31"		34"		30"		29"		27"		29"		33"		30"
	Entonar pinch, cambiar cables y ventosa, cinta, pero y guante	3' 24"		5'		4' 10"		3' 54"		3' 33"		3' 23"		3' 01"		4' 12"		3' 49"
	Entonar pinch, limpiar cables y ventosa, cinta, pero y guante	-		-		-		-		-		3'		-		2' 34"		2' 47"
DESMONTAR ESPIGA MONOBLOCK	Desmontar, limpiar y guardar espiga monoblock	4' 32"		-		3' 27"		3' 28"		3' 57"		-		-		4' 12"		3' 55"

Imagen 67. Primera parte de la segunda plantilla de toma de tiempos de preparación.

DESMONTAR TACO INFERIOR, SUPLEMENTOS Y PUNZON INFERIOR	Cambiar partes del conector para enlazar al parte superior inferior si es necesario	1' 02"	1' 07"	1' 10"	*	-	45"	-	47"	58"
	Desmontar y guardar partes punzon inferior	6' 55"	5' 34"	3' 59"	*	5' 22"	4' 56"	5'	6' 02"	5' 24"
	Llevar y limpiar suplementos del taco inferior	1' 34"	-	-	1' 49"	-	-	-	-	1' 42"
	Comprobar existencia de stock en el almacén y traer bloques de pulido	-	4' 54"	-	-	-	6' 23"	4' 19"	-	5' 12"
DESMONTAR CARGADOR Y/O CAMBIO DE MATERIAL	Colocar en mesa espiga de vacuado y cable con bloques de vacuado	-	2' 21"	-	-	-	2'	1' 58"	-	2' 06"
	Verter material del bulto original de bloques a vacuado en bulto de vacuado	-	5' 34"	-	-	-	5' 23"	7' 54"	-	6' 17"
	Desmontar bloques de material de bloques a vacuado y traer al almacén de bloques de vacuado en el original	-	8' 12"	-	-	-	6'	7' 10"	-	7' 07"
	Llevar y guardar utillaje de vacuado en su lugar correspondiente	-	4' 56"	-	-	-	4' 18"	7'	-	5' 28"
	Desmontar cargador, limpiarlo, limpiarlo y guardar en lugar correspondiente	-	10' 10"	-	-	-	13' 14"	15' 21"	-	12' 55"
	Desmontar bloques de material antiguo al	-	6' 56"	-	-	-	6'	7' 45"	-	6' 53"

Imagen 68. Segunda parte de la segunda plantilla de toma de tiempos de preparación.

MONTAR TACO SUPERIOR, PUNZÓN SUPERIOR Y CENTRAR	Introducir porta-punzón superior	1' 25"	1' 29"	3' 28"	*	1' 34"	1' 52"	1' 33"	*	1' 54"
	Centrar y collar porta-punzón superior	2'	2' 24"	2' 02"	*	1' 49"	3'	2' 25"	*	2' 17"
PROGRAMACIÓN	Crear programa de prensado	-	-	-	*	-	-	-	*	-
	Cargar programa de prensado y modificar parámetros	2'	2' 43"	1' 32"	*	2' 43"	2' 18"	3' 10"	*	2' 24"
	Realizar modificaciones pertinentes en el programa	1' 18"	4'	3' 23"	*	3' 29"	2' 14"	5'	*	3' 14"
HACER CEROS	Hacer ceros y referenciar utillajes	3' 23"	2' 34"	3' 12"	*	3' 58"	2' 59"	3' 30"	*	3' 16"
TOTAL		61 min	127 min	65 min	46 min *	68 min	121 min	129 min *	52 min *	
TIEMPO TOTAL REAL		72 min	189 min	68 min	54 min *	75 min	145 min	141 min *	55 min *	
% Tiempo ocioso		15,20%	32,00%	4,41%	14,81% *	9,33%	16,55%	8,51% *	5,45% *	
* Falta por medir alguna operación de la preparación										

Imagen 69. Última parte de la segunda plantilla de toma de tiempos de preparación.

La principal diferencia que entre esta plantilla y la que se diseñó al principio del SMED radica en que ésta ya está diseñada directamente con los grupos de operaciones listos para medir el tiempo, mientras que en la primera plantilla que se diseñó aún no se tenían claras las operaciones que se iban a realizar y por eso se tenían huecos en blanco para describirlas. Otra diferencia entre ambas, ha sido la forma de recoger los tiempos: mientras que en la primera se decidió imprimir la plantilla directamente en papel, en esta ocasión se ha optado por apuntar los tiempos directamente sobre la plantilla del ordenador, debido justamente a que no había que describir las operaciones, sino únicamente apuntar sus tiempos asociados.

Alguno de los parámetros que se han decidido incluir en esta plantilla son:

- El **Nº OF**, igual que en la primera plantilla, para poder tener acceso al pedido que se prensó en caso de que se tomaran mal el resto de parámetros.
- La **hora de inicio y de final** para poder después como se verá calcular el porcentaje de tiempo de la preparación en que se ha estado realizando otras actividades diferentes de la preparación (lo que se conocía como tiempo ocioso).
- El **tipo de preparación** (codificada mediante el sistema letra-número) que se iba a presenciar, que vendría a sustituir todos aquellos elementos que se incluyeron en la primera plantilla como el uso o no de cargador, tipo de matriz montada,



diámetro de la matriz...etc. Es útil porque te permite saber de antemano a partir del diagrama de flujo todas las operaciones que se van a realizar y el orden en que se harán, de forma que se pueda planificar un poco mejor la toma de tiempos de operación. Además, sirve también para poder después clasificar el tiempo total en función de la preparación que se ha realizado.

- **Estructuras en que las operaciones forman parte de procesos más grandes.** Tal y como se mostró en el diagrama de flujo coloreando cada bloque de un color, en esta plantilla se ha hecho lo mismo, y se han agrupado todo el conjunto de operaciones que forman parte de un mismo proceso con un mismo color, que también es el mismo con el que aparece dicha operación en el diagrama de flujo.
- Las **casillas finales**, en las que aparece el tiempo teórico que debería durar la preparación si se hubieran realizado solo las operaciones (**tiempo total**), el tiempo real que ha durado la preparación incluyendo otras actividades del operario como por ejemplo ir a desayunar, asistir a otras máquinas, reuniones... (**tiempo total real**), y por último el porcentaje de **tiempo ocioso** de la preparación, que representa el tanto por ciento del tiempo real en que el operario ha estado haciendo dichas actividades, y que se ha calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{ Tiempo ocioso} = \frac{\text{Tiempo total real} - \text{Tiempo total}}{\text{Tiempo total real}} \cdot 100$$

*Fórmula 1. Cálculo del porcentaje de tiempo ocioso de una preparación.*

Con respecto a las preparaciones en sí, cabe destacar que en esta segunda fase de recogida de tiempos se asistió a un total de 8 preparaciones, 5 de tipo **E0** y 3 de tipo **D1**. De la misma manera que se hizo, se ha intentado siempre no observar al mismo operario sino ir cambiando para tener una muestra representativa de preparaciones en que hayan intervenido todos ellos.

Se puede observar en la última fotografía que las preparaciones **E0**, que son las más habituales en prensa, y también de las más sencillas, oscilan entorno a los 60 – 70 minutos de duración (teniendo solo en cuenta las operaciones, sin tiempo ocioso), mientras que las **D1**, que eran las más complicadas, presentan unos valores que llegan

a los 130 minutos, es decir, poco más de 2 horas de duración, por lo que los resultados obtenidos son bastante coherentes con respecto a lo que se esperaba desde un principio.

Además de estos tiempos, hay que vigilar también el parámetro del tiempo ocioso, dado que de alguna forma es el que indica la productividad a la que se ha rendido en la preparación, y marca la diferencia entre los tiempos teóricos y los reales. Aunque el objetivo de este proyecto no es atacar estos tiempos, no está de más comprobar que sus valores dentro de las preparaciones sean normales y se encuentren dentro de un rango relativamente estable, para así poder dar por buenos los tiempos de preparaciones tomados. Tal y como se puede observar en las fotografías, el tiempo ocioso promedio de las preparaciones se encuentra en torno a un 13 – 14%, salvo un caso excepcional en que se tiene un 32%, por lo que se puede afirmar que en las preparaciones no está habiendo períodos de tiempo excesivamente grandes perdidos en realizar otras tareas, y se pueden dar por buenas las preparaciones tomadas.

Tras haber hablado del diseño de la plantilla y de los aspectos más generales de las preparaciones, toca ahora centrarse en los tiempos y analizar los tiempos medios obtenidos. Sin embargo, lo que se analizará aquí serán los tiempos medios de los procesos en vez de los de las operaciones, es decir, se analizará todo el tiempo sumado de las operaciones que forman parte de un mismo grupo o tarea. Y esto es debido a una razón muy sencilla, y es que no tendría mucho sentido tratar de aplicar mejoras sobre operaciones que como se ha visto en algunos casos duran apenas unos segundos, sino que se tiene que actuar sobre procesos que sean más grandes en volumen de tiempo. Pero y si se decide analizar los procesos grandes, como por ejemplo sería “Desmontar cargador y/o cambio de material” en vez de hacerlo en cada una de sus operaciones, entonces, ¿qué sentido tiene haber desglosado y obtenido todas las preparaciones en sus operaciones más pequeñas? La respuesta a esta pregunta será explicada con detalle en el apartado 6.5 donde se habla sobre las mejoras previstas, pero para no perder el hilo conductor del trabajo se responderá de forma breve: las operaciones más pequeñas en que se divide cada proceso serán las que servirán para poder aplicar las mejoras, dado que algunas se eliminarán, otras se cambiarán de orden o se externalizarán...etc, pero éstas no se pueden analizar a la hora de mirar los tiempos medios debido a que se trata de operaciones tan pequeñas en un contexto de preparaciones tan largas, que no tendría sentido hablar de mejoras experimentadas de un 1% o un 2%, motivo por el cual se mirarán los tiempos globales de proceso (es decir, todas las operaciones de un mismo color con sus tiempos medios sumados).

Dicho esto, a continuación se muestran los tiempos medios de proceso redondeados a la unidad, junto con el porcentaje que representa cada uno de ellos para ambas preparaciones:

<b>Preparación E0</b>		
Proceso	Tiempo	Porcentaje
Otras	15 min	19,73%
Desmontar espiga monoblock	4 min	5,26%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min	3,94%
Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	11 min	14,47%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	10,52%
Montar espiga monoblock	4 min	5,26%
Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	10 min	13,15%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	8 min	10,52%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min	5,26%
Programación	6 min	7,89%

Hacer ceros y referenciar utilajes	3 min	3,94%
<b>TOTAL</b>	<b>76 min</b>	<b>100%</b>

*Tabla 8. Porcentaje de minutos que representan los procesos principales en la preparación E0.*

Tal y como se puede observar en la tabla, los procesos que representan el porcentaje más grande de las preparaciones de este tipo son las definidas en la categoría “Otras”, debido esencialmente a que incluyen un gran número de operaciones. Después, aparecen el montaje y desmontaje tanto de la matriz como del taco inferior, hecho que es lógico debido a que son elementos muy pesados y difíciles de manipular y obliga que su transporte sea hecho con manipulador, incrementando significativamente el tiempo total del proceso. Además, el hecho de que tengan también tantos complementos asociados, tal y como sucede en la matriz con los anillos de cierre y adaptadores, o con el taco inferior con la presencia de los suplementos, hace que se hagan más largos aún si cabe ambos procesos. Después de éstos, aparecen la programación, el montaje y desmontaje de la espiga monoblock, y el montaje del taco superior, que son bloques de menor duración, pero que también representan una cierta cantidad de tiempo en cada preparación. El resto de operaciones son de porcentajes de orden muy bajo y apenas consumen tiempo de las preparaciones, como es el caso del desmontaje del taco superior o el referenciar los utilajes.

En el caso de las preparaciones **D1**, se tiene el siguiente reparto de tiempos:

Preparación D1		
Proceso	Tiempo	Porcentaje
Otras	15 min	10,71%
Desmontar espiga independiente	10 min	7,14%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min	2,14%
Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	18 min	12,85%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	5,71%
Montar espiga monoblock	4 min	2,85%
Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	7 min	5,00%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	16 min	11,42%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min	2,85%
Programación	6 min	4,29%
Hacer ceros y referenciar utillajes	3 min	2,14%
Desmontar cargador y/o	46 min	32,85%

cambio de material		
<b>TOTAL</b>	<b>140 min</b>	<b>100%</b>

*Tabla 9. Porcentaje de minutos que representan los procesos principales en la preparación D1.*

En este caso se ve claro que el grupo de operaciones que representan la cantidad más grande de minutos de la preparación es básicamente el cambio de material unido con el desmontaje del cargador. Después de este proceso, aparece el desmontaje de la matriz y complementos varios, siendo más importante en esta preparación que en la anterior debido a que en este caso se desmontan matrices grandes que tienen más complementos que las inferiores a 400 mm (anillo de cierre, adaptador grande, placas metálicas...). A continuación le siguen su montaje, todas las operaciones catalogadas dentro de "otras", y el desmontaje de la espiga independiente, que aún representan un porcentaje considerable. En último lugar se tienen todo el resto de operaciones que apenas tienen relevancia en el tiempo de preparación, como es el caso nuevamente de referenciar los utillajes o el montaje de la espiga monoblock.

Por último, destacar que hay operaciones cuyo valor en minutos no ha variado con respecto a la preparación **E0**, como es el caso de la programación o el montaje del taco superior, pero que hay otras en que sí que lo ha hecho como es el caso del montaje del taco inferior, donde su valor se ha visto reducido debido a que en las preparaciones **D1**, que son con espiga independiente, no se requiere el montaje de suplementos.

### **6.1.2. Separación de set-up interno y externo**

Ahora que por fin se ha dado por cerrada la primera fase del SMED, que como se ha podido comprobar, es la más extensa e importante de todo el proyecto, llega ahora el momento de aplicar la segunda fase. Si se recuerda, ésta consistía básicamente en discernir qué operaciones de las preparaciones se llevan a cabo con la máquina parada y cuáles con la máquina en funcionamiento. Es decir, cuáles de ellas se hacen con la máquina trabajando en serie y cuáles se hacen con la máquina parada.

Con la ayuda de los diagramas de flujo y de las preparaciones, se ha podido comprobar que sorprendentemente todas las operaciones que se llevan a cabo en las

preparaciones, son operaciones internas, es decir, que se llevan a cabo en la propia preparación cuando la máquina está parada, en vez de haberlas hecho cuando la máquina estaba trabajando en serie de la orden anterior. Éste no suele ser un caso típico de preparación, dado que en la mayoría suele haber siempre alguna operación de toda la preparación que es externa y se ha preparado ya en la serie anterior, pero en los 2 casos de las preparaciones que se han visto, se ha dado que son todas internas. Un ejemplo de operación externa podría ser la búsqueda de la espiga monoblock que toca para la orden siguiente mientras alguna pieza se está prensando ya trabajando en serie, pero tal y como se ha visto con el diagrama en apartados anteriores esta operación se realizaba durante la misma preparación.

Teniendo en cuenta la situación actual, a continuación se muestra lo que sería el diagrama de flujo de ambas preparaciones, pero discerniendo ahora cada bloque ya no en función del proceso al que pertenece, sino en función de si es una operación externa:

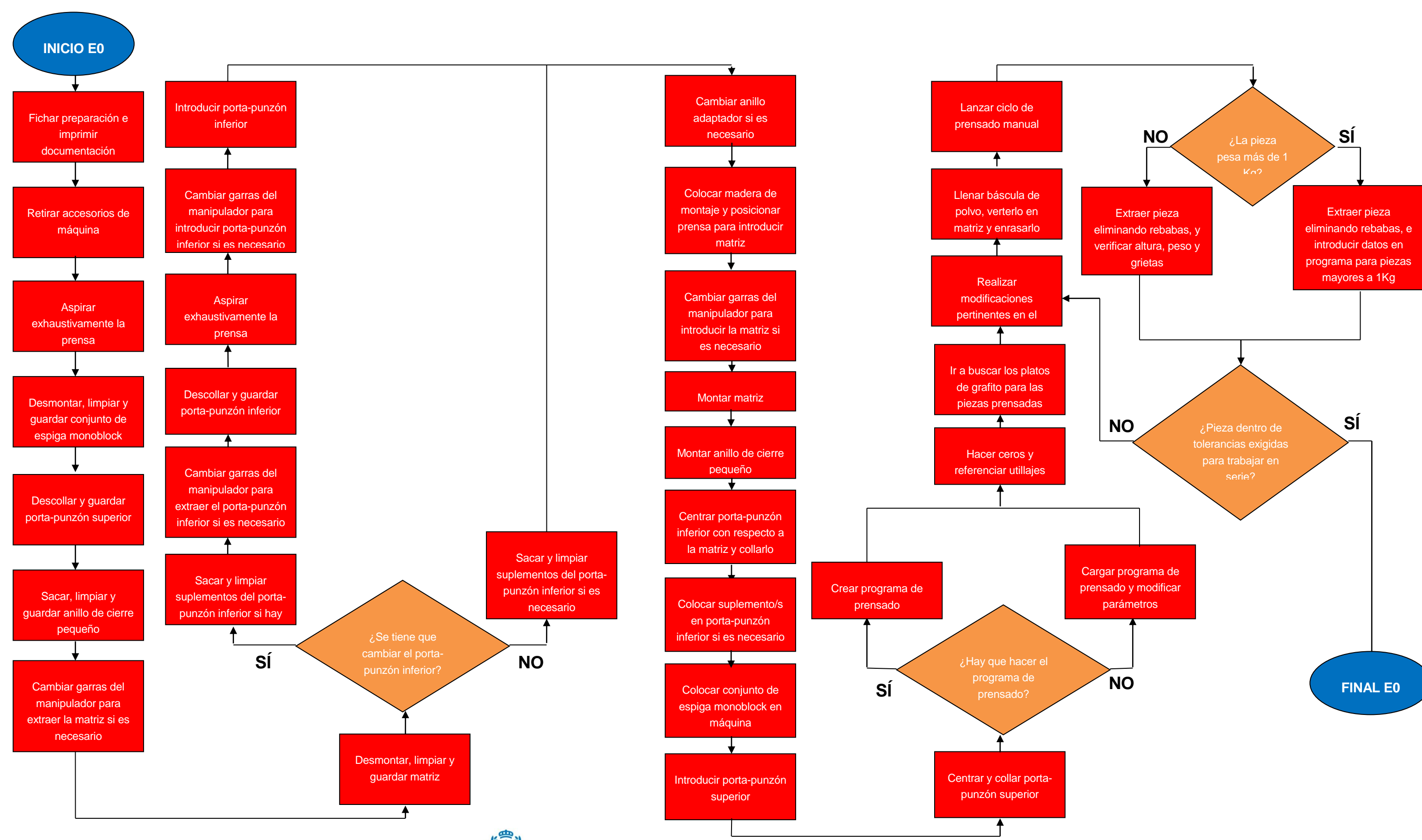


Diagrama 3. Diagrama de flujo de la preparación E0 visto desde el punto de vista interno/externo antes de las mejoras.



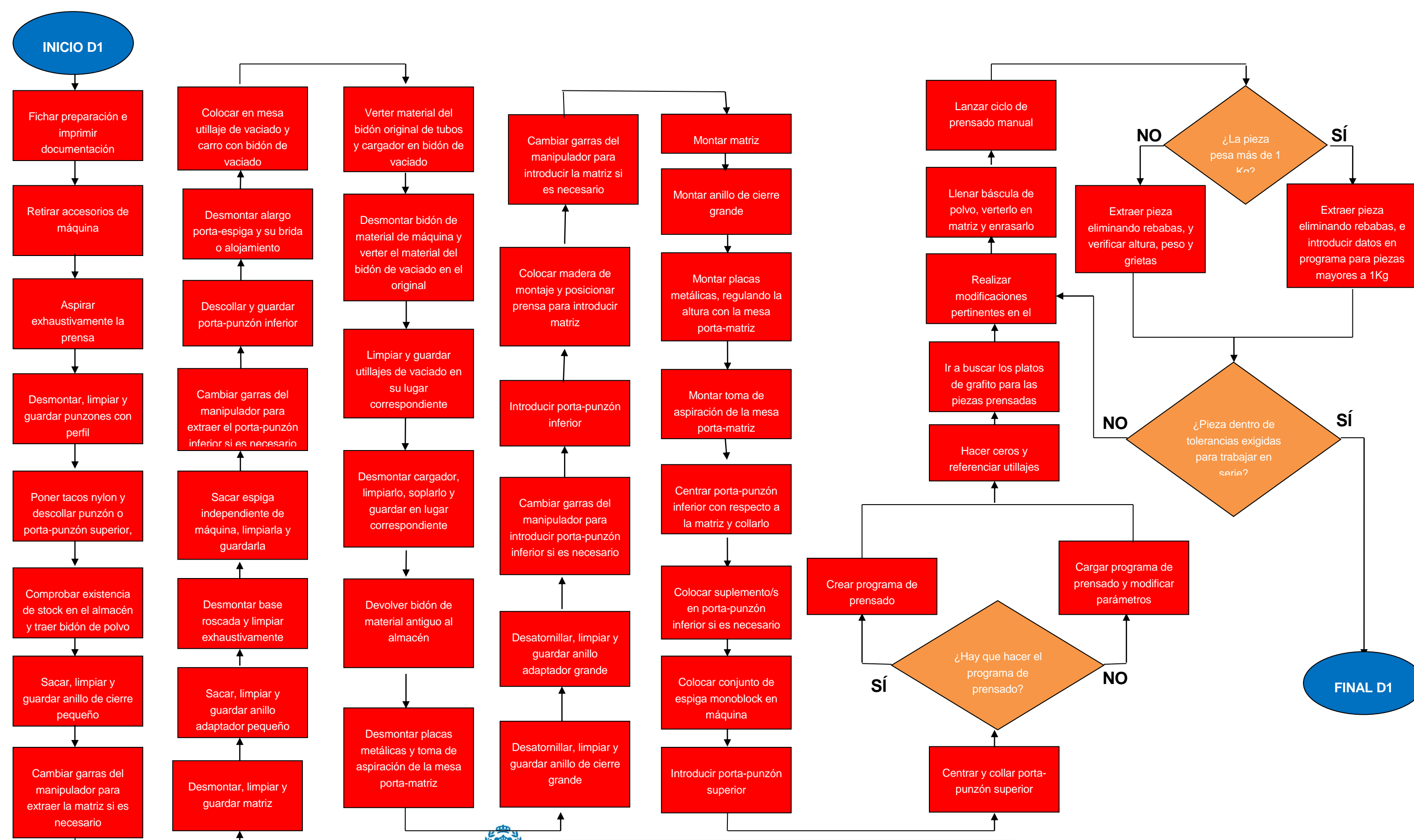


Diagrama 4. Diagrama de flujo de la preparación D1 visto desde el punto de vista interno/externo antes de las mejoras.

Tal y como se puede comprobar en ambos diagramas, todas las operaciones están en rojo, lo que quiere decir que son internas, lo cual tiene una parte negativa y otra positiva. La parte negativa lógicamente es que son todas las operaciones que forman parte del set-up interno, y que por tanto quiere decir que las cosas no se están haciendo todo lo bien que deberían, porque si no habría al menos alguna operación que sería externa. Una de las razones que justifican que todas las operaciones sean internas es que la prensa lleva un período de tiempo muy corto en la planta, e incluso algunos de los operarios a día de hoy se están todavía terminando de formar, por lo que es normal que no se hayan mejorado los procedimientos de las preparaciones cuando hasta hace poco ni siquiera se tenía claro al completo el orden de los pasos para realizar el set-up.

Por otro lado, la buena noticia es que el hecho de que aún no se hayan hecho programas de mejora en las preparaciones, quiere decir que la prensa tiene aún un gran margen para optimizar sus procesos, lo cual lleva a pensar que la aplicación del SMED puede aportar resultados muy positivos.

### **6.1.3. Conversión de tareas internas a externas**

Ahora que ya se ha visto cuál es la situación actual en la que se encuentra la preparación de la prensa a nivel de tareas, llega ahora quizá otro punto de los más importantes del trabajo, que consiste en explicar qué tareas se pueden externalizar y cuáles no y justificar el porqué. Para ello, se comenzará examinando todas las operaciones del primer diagrama de flujo correspondiente a la preparación **E0**, y mirando cuáles pasarán a formar parte del set-up externo y cuáles han de permanecer en el interno, y más tarde se hará lo mismo con el segundo:

- La primera operación comienza con la fichada de la preparación y la impresión de la documentación de prensado. Lógicamente la fichada se tiene que realizar en la propia preparación, pero la impresión de la documentación podría ser una acción que se llevara a cabo antes de empezar a preparar, de forma que ya estuviera lista en el momento de preparar y se pudieran ahorrar algunos segundos de impresión.
- El aspirar el interior de la prensa y retirar los accesorios que se han utilizado son acciones que no se pueden hacer en la serie anterior, debido a que no se puede aspirar la prensa cuando ésta está funcionando (por un tema de seguridad y de cierre de sus puertas) y también porque los accesorios como el enrasador o el

pincel para eliminar las rebabas son necesarios al trabajar en serie, por lo que estas acciones no se pueden externalizar.

- El desmontar, limpiar y guardar son varias acciones incluidas dentro de un mismo bloque, pero que tienen prioridades diferentes. Para poder continuar con el desmontaje de la prensa, la única de las tres operaciones que sería absolutamente necesaria sería el desmontaje de la espiga, por lo que las otras dos podrían desecharse y dejar de hacerse, pero una de las principales reglas del SMED, es que su aplicación no puede influir ni en la salud o ergonomía de los trabajadores ni tampoco reducir o empeorar la calidad de los productos, que seguramente se vería mermada como consecuencia del mal estado de los utillajes causado por la suciedad si no se limpiaran y guardaran debidamente. Parece claro por tanto, que lo que hay que buscar es la forma de que el operario haga únicamente la operación de desmontaje de la espiga para poder ahorrar tiempo de la preparación, pero sin que se dejen de limpiar y guardar las espigas. Más adelante se mostrará cómo llevar a cabo esto. Se tendrá por tanto que el desmontaje será operación interna y la limpieza y almacenaje de la espiga monoblock serán externas.
- Siguiendo esta misma lógica, se puede aplicar lo mismo en los casos de desmontaje, limpieza y almacenamiento en su estantería del resto de utillajes: porta-punzón superior, anillo de cierre, matriz, suplementos del porta-punzón inferior y porta-punzón inferior. A partir de esta metodología, lo único que se hará a partir de ahora es desmontar los utillajes, que es la única operación que es estrictamente interna, es decir, que es necesaria hacerla con la máquina parada para poder continuar con la preparación, dejando las acciones de limpiar y guardar como operaciones externalizables y que se pueden hacer en cualquier otro momento.
- Hay otra operación que aparece frecuentemente y es la del cambio de garras del manipulador principal, ya sea para introducir o extraer una matriz o un porta-punzón inferior. Teniendo en cuenta que se ha dicho que únicamente se considerará como operación interna el desmontaje de estos elementos, su transporte y almacenamiento en sus estanterías respectivas serán externas también. Por lógica, si el operario ya no se va a encargar de transportar estos elementos, no tiene sentido tampoco que se encargue de cambiar las garras del manipulador que los transportará, por lo que el cambio de garras, sea cual sea,

será también otra operación externa.

- Lo que vendría a continuación serían todas las operaciones de montaje de utillajes, empezando por la introducción del porta-punzón inferior, la matriz, anillo de cierre y adaptador en caso de que sea necesario cambiarlo... Hay que tener en cuenta que estas operaciones no incluyen sólo el montaje en sí de los utillajes, sino que también en su tiempo de duración se incluyen su búsqueda en su estantería respectiva y su transporte hasta máquina. De la misma manera que se hacía con los desmontajes, se hará con los montajes. El montaje del utillaje en máquina se hará durante la preparación con la máquina parada porque no queda otro remedio, pero su búsqueda y transporte previo, son operaciones que se pueden haber hecho previamente antes del momento del montaje, lo que significa que se propondrá que los utillajes a montar estén ya listos a pie de máquina antes de empezar con su montaje. El montaje por tanto será una operación interna, pero una parte de éste, que incluye la búsqueda de los utillajes y su transporte, serán operaciones externalizables.
- Quedaría por hablar de todas las operaciones del final del diagrama, que corresponden a la parte de programación hasta la obtención de la pieza buena para empezar a trabajar en serie. Todas las correspondientes a la programación como el crear o el cargar el programa son operaciones que no se pueden hacer con la máquina trabajando en serie, dado que los programas únicamente se pueden crear o modificar en la propia interfaz de la máquina, y si se está prensando la máquina no permite estar con un programa ejecutando las órdenes de prensado y con otro abierto para su modificación o carga de datos, por lo que estas serán operaciones internas que no se pueden externalizar.
- El hacer ceros y referenciar los utillajes no se puede externalizar tampoco, debido a que es una acción que se tiene que llevar a cabo justo antes de empezar a prensar, y no se puede hacer antes. Además, en esta acción no existe el concepto de búsqueda del utillaje debido a que se encuentra normalmente en la mesa principal de trabajo, por lo que no se puede ahorrar tiempo de búsqueda y de transporte externalizando estas acciones.
- La acción de ir a buscar los platos de grafito como se puede intuir es totalmente externalizable, dado que no es estrictamente necesario realizarla con la máquina parada y se puede hacer con la máquina en serie de la orden anterior. Esto

permitirá ahorrar una cantidad considerable de minutos, debido a que habitualmente consume entre unos 6 – 7 minutos de cada preparación.

Una vez vistas todas las acciones que pasarán a ser externas, se presenta a continuación el diagrama de flujo que quedaría, teniendo cada bloque de un color en función si es una operación interna (rojo), si es externa (verde) o si hay acciones internas y externas dentro de la misma operación (amarillo):

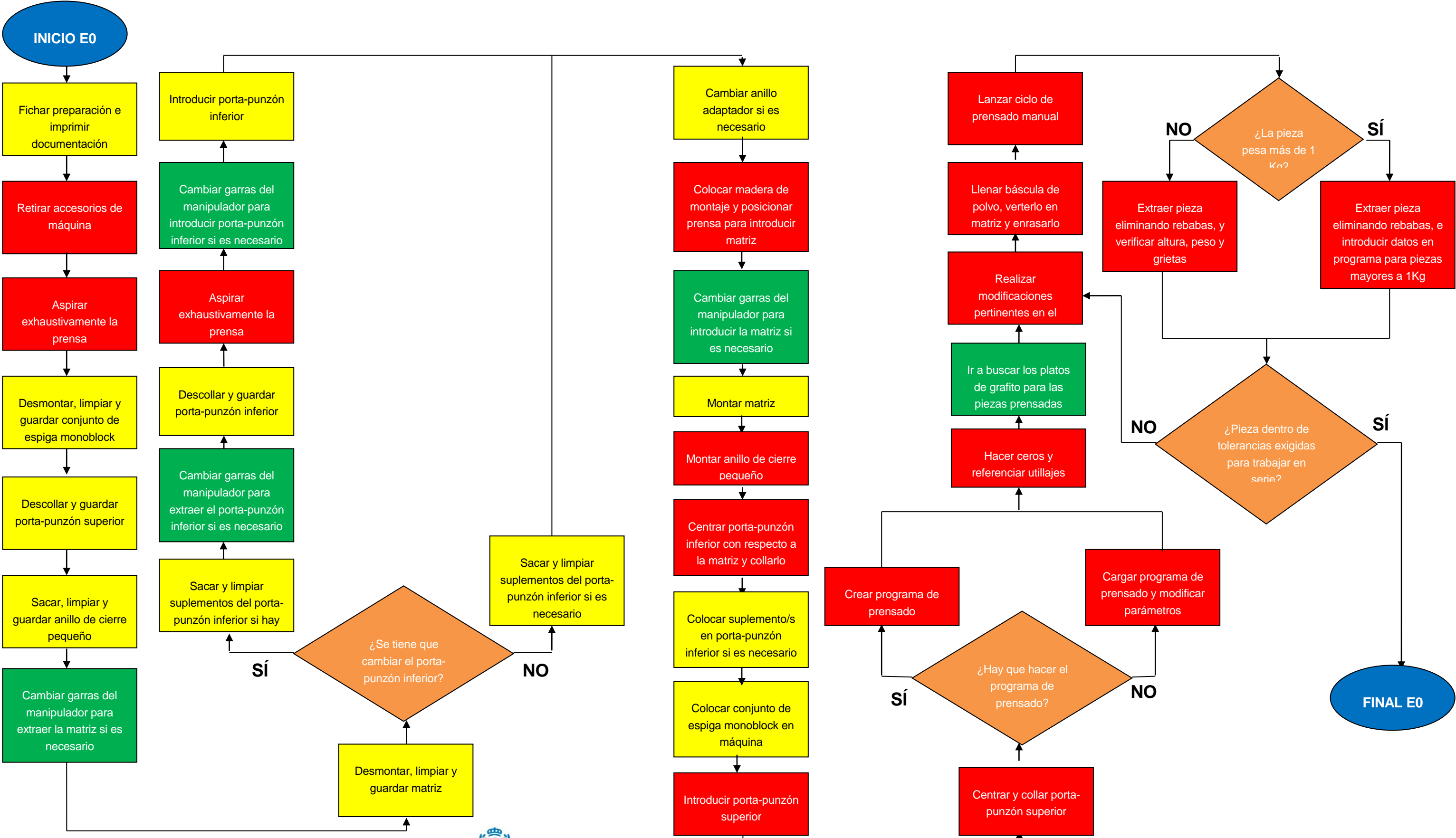


Diagrama 5. Diagrama de flujo de la preparación E0 visto desde el punto de vista interno/externo durante SMED.

Una vez vista la preparación **E0**, se pasará ahora a ver las mejoras que se introducirían en las preparaciones de **D1**. Para no hacer esta explicación redundante, se hablarán únicamente de las nuevas mejoras que se introducen en operaciones de esta preparación, obviando las mencionadas en la anterior:

- Hay algunos elementos que aquí aparecen y que en la preparación anterior no aparecían debido a que lo que se desmontaba era espiga monoblock y lo que se desmonta en estas preparaciones es con espiga independiente. En las acciones que hablan del desmontaje, limpieza y guardado de la base roscada, alargó porta-espiga, espiga independiente, placas metálicas, anillo de cierre grande... aplicaremos la misma filosofía que en las preparaciones anteriores y únicamente dejaremos como acciones internas las que son puramente de desmontaje.
- Como se trata de una preparación con cambio de material, todas las acciones en las que se tiene que perder tiempo trayendo el nuevo bidón de material a pie de máquina y llevando el antiguo al almacén pasarán a ser acciones externas, dado que se pueden hacer incluso cuando la máquina está trabajando en serie en la orden anterior.
- Con respecto al montaje y desmontaje de los utillajes de vaciado, propiciado por la necesidad de desmontar el cargador, se volverán a externalizar todas las acciones que hagan referencia a la limpieza o almacenamiento de utillajes y/o herramientas. Entre éstas se incluyen lógicamente la limpieza de los accesorios de vaciado y la limpieza del cargador y de sus tubos de llenado.
- Aquellas acciones en las que hay flujo de material de un lugar a otro pueden ser internas o externas. En el caso en el que se está vaciando el cargador antes de desmontarlo, haciendo que el material caiga hasta el bidón de vaciado es una acción interna, dado que no se puede hacer en otro momento que no sea éste. Sin embargo, en el otro caso en que el material ya en el bidón de vaciado se devuelve al bidón original, se puede considerar ya una acción externalizable, dado que en la prensa ya se ha hecho lo estrictamente necesario para poder seguir desmontándola, y la devolución del material al bidón original se lleva a cabo fuera de ella y podría realizarse en otro momento.
- Con respecto al montaje de los utillajes, sucede lo mismo que en el caso de la preparación anterior, e incluyen también su proceso de búsqueda y transporte,

que en algunos casos son tiempos muy poco significativos, pero en otros pueden llegar a representar el 50% del tiempo de duración del montaje, como sucede en el caso del montaje de matrices y de porta-punzones inferiores donde el transporte es muy lento.

- Por último, todas las operaciones de programación y prensado son exactamente iguales que en el caso anterior, por lo que como sucedía antes serán todas internas, excepto la de la búsqueda de los platos de grafito.

En la siguiente hoja de muestra el diagrama de flujo de esta preparación, una vez terminada la externalización de operaciones:



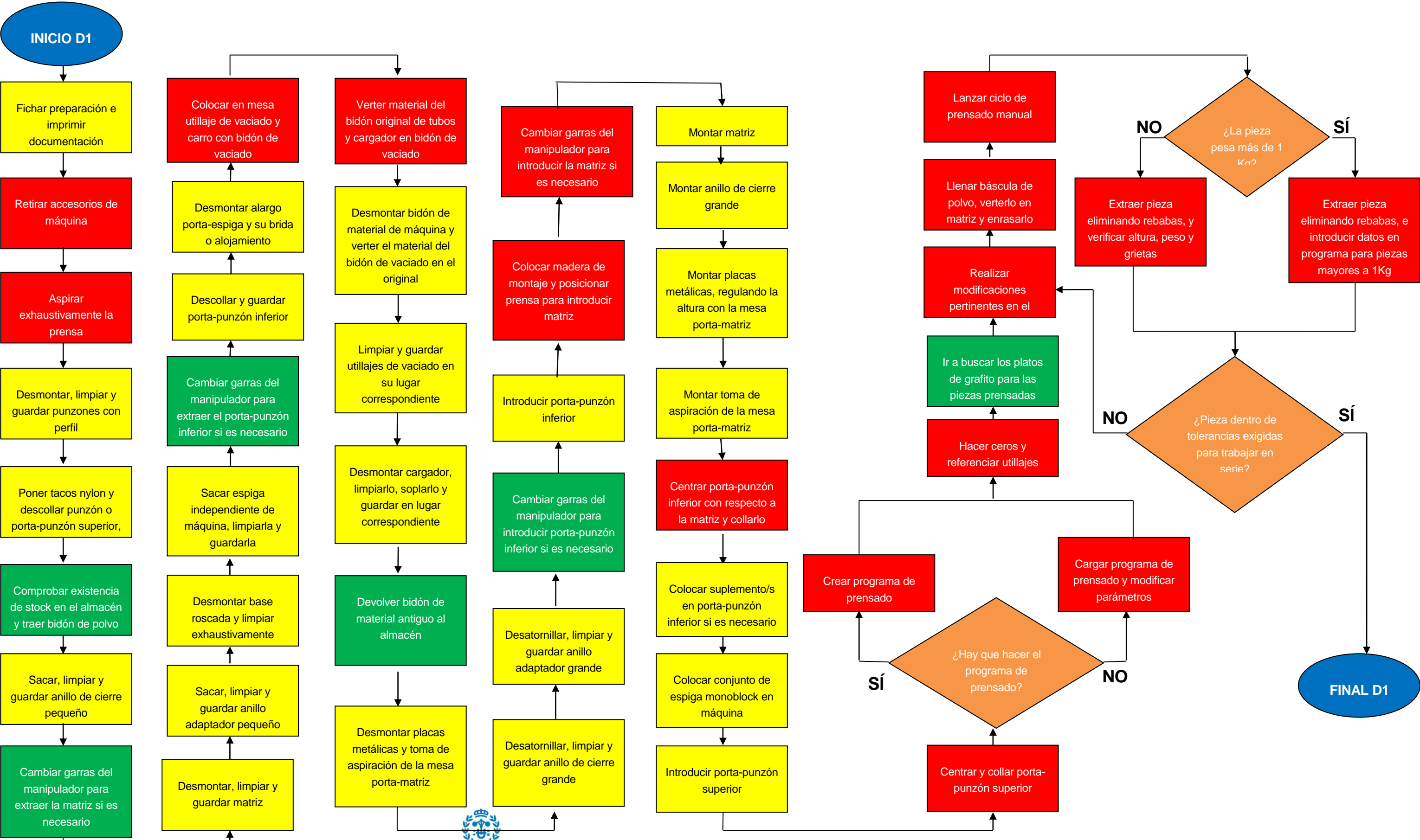


Diagrama 6. Diagrama de flujo de la preparación D1 visto desde el punto de vista interno/externo durante SMED.

#### 6.1.4. Optimización

Una vez terminada la etapa de externalización de tareas, llega ahora el momento de buscar soluciones para reducir los tiempos de cada operación. Es decir, lo que se ha hecho hasta ahora es simplemente planificar en qué momento se tienen que realizar las actividades: si sólo se pueden hacer en el mismo momento en que se está preparando con la máquina parada o si se pueden hacer en otro momento con la máquina ya en serie, ya sea de la orden anterior o de la siguiente. Lo que toca en esta fase es proponer mejoras para reducir la duración de todas las acciones, ya sean externas o internas. Para ello, lo que se hará es centrarse en algunos de los principios básicos que se explicaron en el apartado teórico del SMED, con los que como se verá más adelante se conseguirían reducir notablemente los tiempos: 1) aproximación de los utillajes a máquina, y 2) estandarización y ordenación de éstos en función de criterios de medidas y frecuencia de uso.

#### APROXIMACIÓN DE UTILLAJES A MÁQUINA

Lo que se pretende con la aproximación de todos los utillajes a máquina es reducir al máximo los tiempos de transporte cuando éstos son montados y desmontados, especialmente en los casos de las matrices y los porta-punzones inferiores cuyo transporte se realiza con manipulador. Es por ello que se ha decidido reconfigurar la estructura del *layout* para permitir que las siguientes estanterías con utillajes puedan estar más cerca de máquina:

- Las 2 estanterías de matrices y suplementos.
- Las 2 estanterías con matrices, espigas monoblock, independientes, bases y arandelas.
- La estantería con matrices y porta-punzones inferiores.
- La estantería con porta-punzones superiores y utillaje de vaciado.

Hay que tener en cuenta que estas estanterías contienen únicamente utillaje de esta prensa, por lo que los movimientos que se quieren hacer únicamente pueden tener efectos positivos. Si se hubiera dado el caso de que las estanterías contuvieran elementos que se usan también en las otras prensas, las acciones que se llevaran a cabo para acercarlas a la prensa semiautomática serían contraproducentes para las manuales, por lo que se tendría que haber buscado una situación de equilibrio que beneficiara a ambas partes.

Con el acercamiento de estas estanterías ya se conseguirá reducir notablemente el tiempo de transporte de las espigas (ya sea monoblock o independiente), las matrices, los porta-punzones (inferiores y superiores), los anillos de cierre y adaptadores, base roscada...más adelante se verán los porcentajes de reducción.

Sin embargo, para poder terminar de reducir bien el tiempo de transporte de matrices y porta-punzones inferiores sería necesario acercar también el parking del manipulador a máquina, para que cada vez que se quiere utilizar no se tenga que ir al otro extremo de la planta, y es por ello que se ha decidido acercarlo también.

La última de las cosas que se ha decidido acercar también a máquina son los platos de grafito. Se trata de un recurso compartido con la sección de mecanizado en verde, por lo que en este caso no se optará por desplazar la estantería entera (dado que sería contraproducente para las máquinas de mecanizado en verde), sino que se pondrá una pequeña estación acoplada cerca de la prensa con algunos platos de grafito para poder tenerlos al alcance en el momento de prensar las piezas. Mediante la implantación de este pequeño puesto, se conseguirán reducir por completo los tiempos de búsqueda de platos de grafito, que pasarán de ser entorno a los 6 minutos a ser del orden de segundos.

## **CLASIFICACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LOS UTILLAJES**

En un principio en este proyecto estaba pensado aplicar alguna herramienta *Lean* de estandarización y clasificación de utillajes y herramientas, que pudiera complementarse con el SMED y terminar de generar un gran proyecto. Sin embargo, el ritmo de los tiempos de aplicación de las mejoras en la empresa ha imposibilitado la aplicación de alguna herramienta de este tipo, como hubiera podido ser las 5S. Es por ello, que aunque no se ha podido realizar un estudio exhaustivo de cuál sería el mejor criterio de ordenación y clasificación de los utillajes y herramientas, se tiene conocimiento de que sería necesario realizarlo llevando a cabo algún otro proyecto, y más teniendo en cuenta el estado en que se encontraban algunas de las estanterías y de los cajones de la mesa principal de trabajo:



*Imágenes 70, 71, 72 y 73. Cajones de la mesa principal de trabajo.*

### 6.1.5. Implantación y seguimiento

Ahora que ya se han decidido las mejoras que se van a aplicar con el SMED, y la subdivisión de tareas de la preparación en internas y externas, llegaría el momento de aplicar las mejoras en la planta e ir auditando para asegurarse de que las mejoras se llevan a cabo y de que efectivamente se ha conseguido reducir las preparaciones el tiempo deseado. Sin embargo, y tal y como se ha dicho antes con la herramienta de las 5S, los ritmos marcados por la empresa en la evolución del proyecto no han sido los mismos que los que exigía un proyecto de final de carrera y no se han llegado a implantar las mejoras. Lo que esto supone es que al final todas estas acciones a llevar a cabo se han quedado como una propuesta de mejora que está a la espera de recibir el consentimiento por parte de la empresa para poder ser aplicada.

Como es lógico, si no se han podido introducir los cambios es obvio que no se ha podido realizar un seguimiento detallado de las preparaciones, por lo que este punto ha de terminar necesariamente aquí.

## 6.2. Propuesta de mejora

Ahora que por fin se ha terminado la parte de aplicación del SMED, ha de terminar de concretarse bien la propuesta de mejora que se plantea para la empresa. Lo que pretende este apartado es resumir y terminar de explicar en detalle en qué consisten las mejoras que se han propuesto, incluyendo tanto la externalización de tareas como la optimización de las actividades.

Tal y como se ha podido apreciar en los nuevos diagramas de flujo obtenidos en el apartado de externalización de tareas, hay muchísimas tareas que se han externalizado, es decir, que el

operario va a dejar de realizarlas mientras se está preparando la máquina porque su realización aumenta el tiempo en que la máquina está parada (y como es lógico, lo que interesa es que se ponga a trabajar lo antes posible). Sin embargo, hay una cuestión que se puede venir a la cabeza, y es que ¿Si no realiza esas operaciones cuando está preparando la máquina, cuando las realizará? La respuesta en la inmensa mayoría de casos sería que se podrían hacer cuando la máquina estuviera trabajando en serie. En la gran mayoría de máquinas que existen en la industria (tornos, fresas, rectificadoras...) cuando éstas empiezan a trabajar en serie y a mecanizar, rectificar... una pieza, suelen tardar un cierto período de tiempo en que el operario tiene un margen para hacer este resto de operaciones externas. En el caso de la prensa, algunas de las operaciones que se podrían hacer durante el trabajo en serie de la máquina serían ir a buscar el material para la siguiente orden de fabricación, ir a buscar los utillajes y prepararlos ya a pie de máquina para la siguiente orden, limpiar y guardar los utillajes que se han utilizado en este pedido... pero existe un problema, y es que los ciclos de prensado de las piezas duran 30 segundos. Esto quiere decir que cada 30 segundos el operario ha de estar en la máquina para extraer la pieza prensada y volver a verter y enrasar el polvo necesario para la siguiente pieza (aunque esta última operación se suprimiría con el uso del cargador), por lo que aunque la máquina esté trabajando en serie, el operario no puede alejarse de la máquina y realizar otras actividades porque no le daría tiempo. Este problema se podría suprimir con la implantación de un brazo robótico que fuera extrayendo las piezas y colocándolas en las bandejas de grafito, tal y como sucede en otras áreas de la empresa, pero no es el caso.

Por tanto, si no hay tiempo mientras se trabaja en serie de realizar todas aquellas tareas que se ha decidido que se externalizarían, ¿cuándo se realizarán entonces? La propuesta de mejora pasa por incluir la figura de un operario extra en la línea, y que haga la función de ayudante con esta prensa. Es decir, este operario adicional se encargaría de realizar todas aquellas tareas externas que el operario que está preparando la prensa ya no realizará, solucionando así el tema de los 30 segundos entre piezas en serie, y permitiendo reducir el tiempo de las preparaciones en un porcentaje muy elevado.

Sin embargo, la función de este operario no sería solo la de actuar de ayudante extra para las preparaciones de la prensa de control numérico, sino que la idea es que sea un “operario comodín”. Es decir, podría ser un quinto operario que hubiera en la zona de prensado y que se encargara de dar soporte también a las otras prensas en caso de necesidad, aunque sin olvidar que su función principal son las preparaciones de la de control numérico. La idea sería que cuando faltara algún operario en alguna de las prensas por el motivo que fuera (dar

soporte en otras secciones, descanso para comer, vacaciones, reuniones, enfermedad o accidente de alguno de los operarios que les imposibilitara ir a trabajar...) este operario estuviera ya listo para trabajar y cubrir ese puesto que dejara libre el otro. Con esto no se pretende decir que si un operario hace un descanso de 15 minutos para ir a descansar, rápidamente le releve otro, porque esto sería extremo, pero quizás períodos de 1 o más horas en que alguna máquina fuera a estar vacía por alguno de los motivos anteriores, podrían estar cubiertos por este operario hasta la vuelta del otro para no parar la producción.

Lo que se propondría también para que no siempre estuvieran las mismas personas trabajando como operario comodín, sería que cada 2 semanas se rotaran los puestos en las prensas, para que así todo el mundo conociera el funcionamiento de todas las prensas y las tareas de este nuevo puesto, y para que se tuviera también una plantilla multifuncional, que al final es una de las cosas que se busca con el *Lean Manufacturing*.

Según estos cambios que se han explicado, en las siguientes páginas se muestran los que serían los nuevos diagramas de flujo a seguir por el operario principal en las 2 preparaciones que se han estudiado. Además, se mostrarán también los diagramas de flujo que seguirá el operario extra:

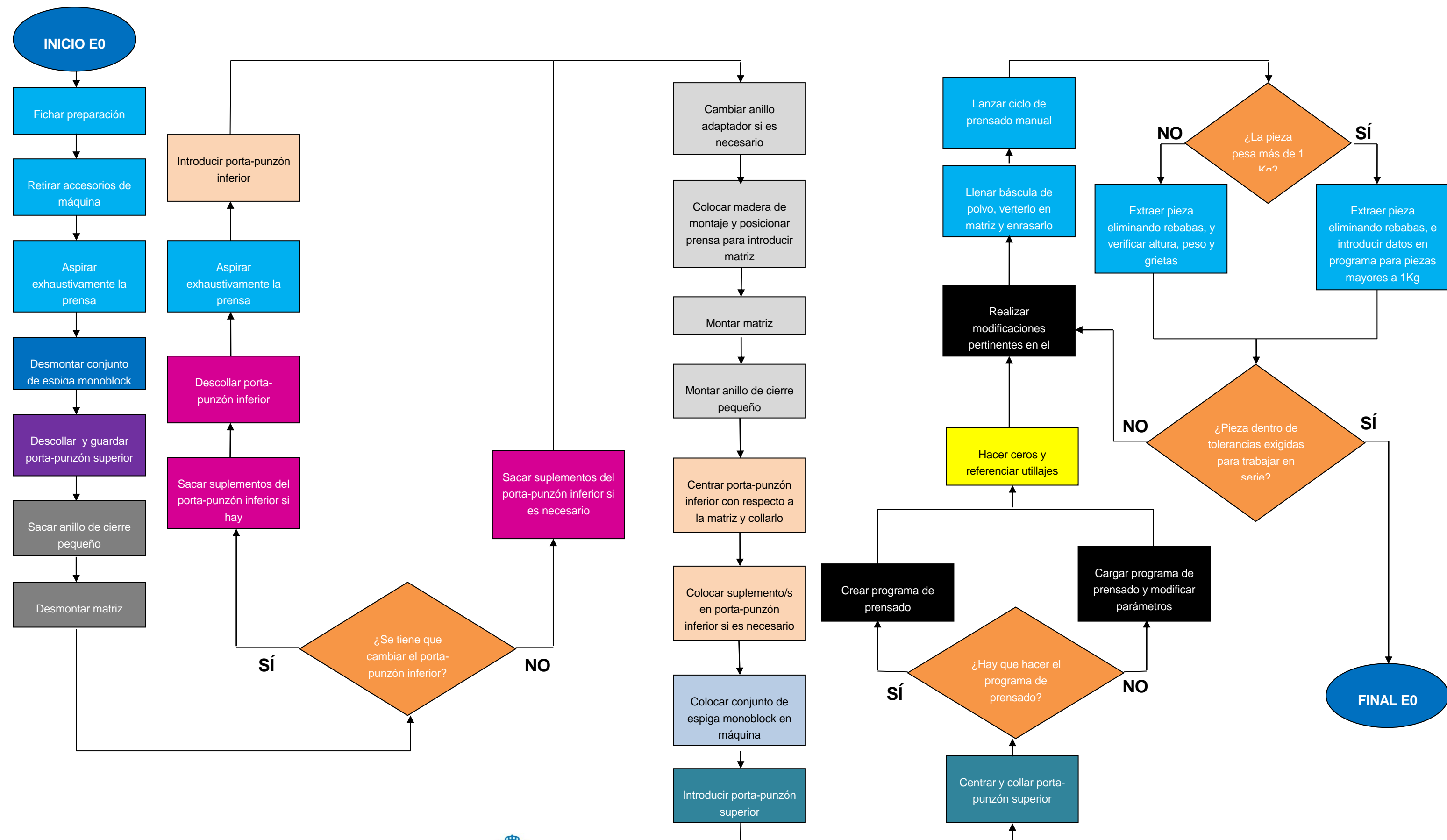


Diagrama 7. Diagrama de flujo de la preparación E0 después de aplicar las mejoras.



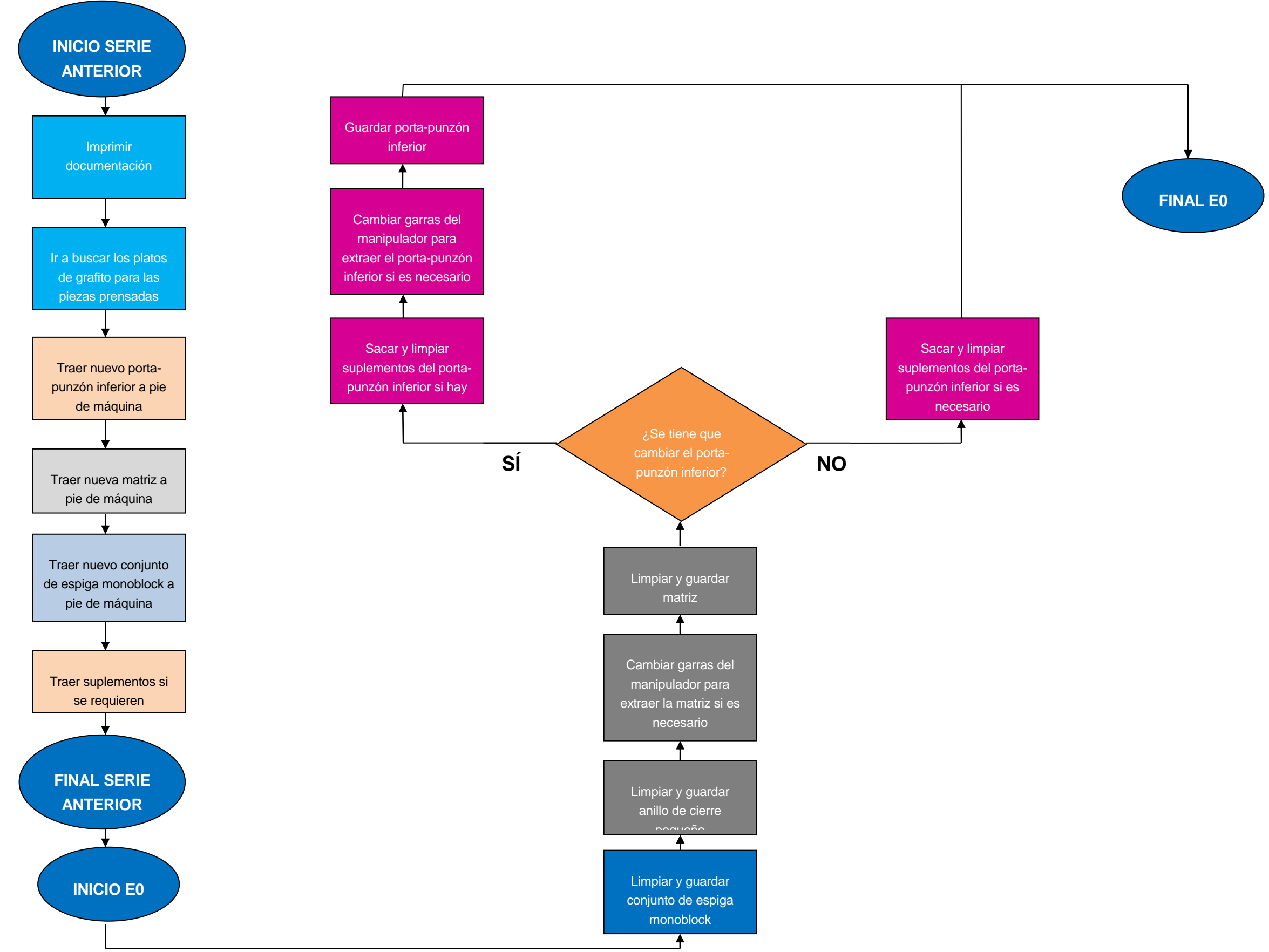


Diagrama 8. Diagrama de flujo del operario extra con la preparación E0.

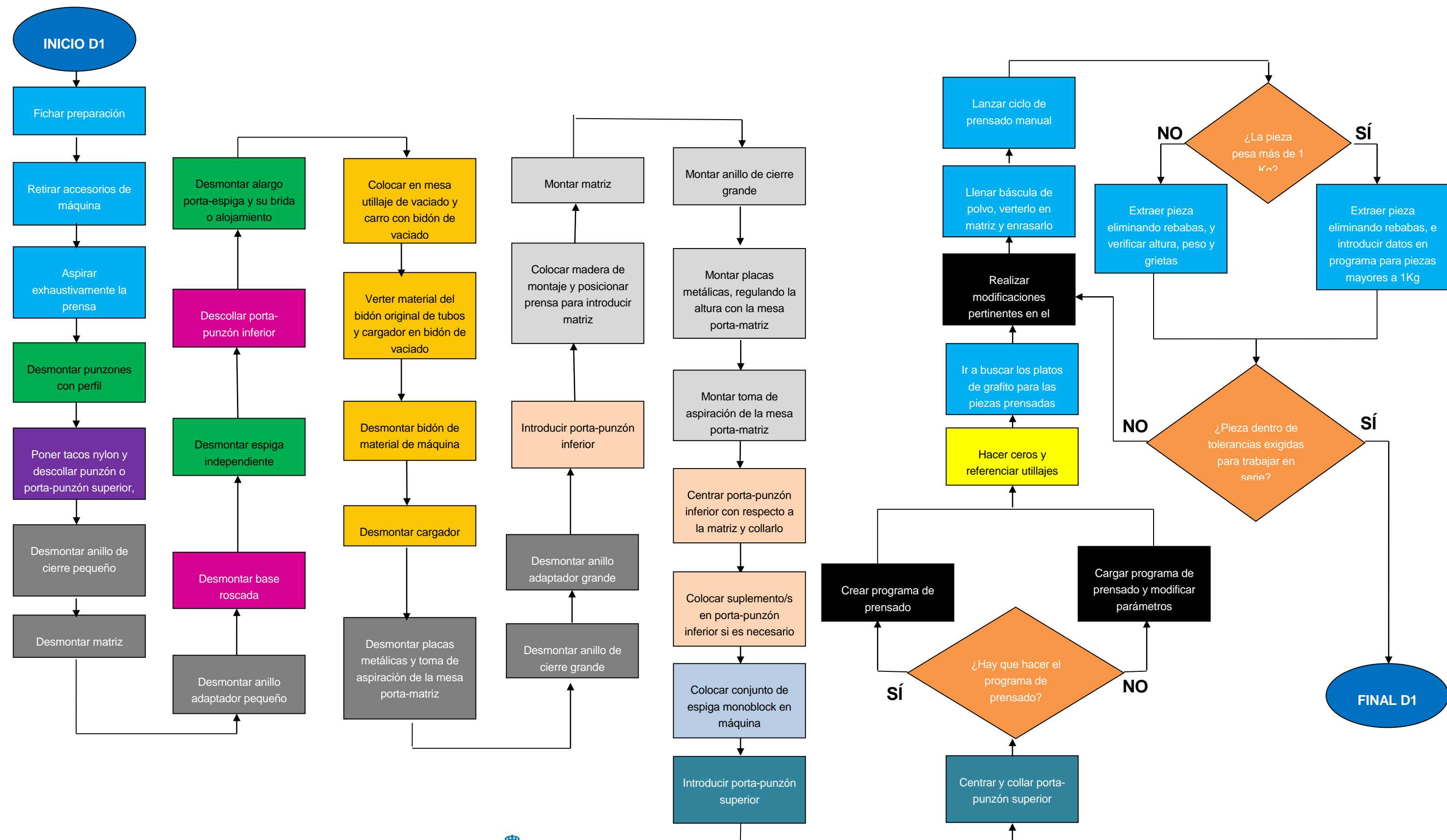
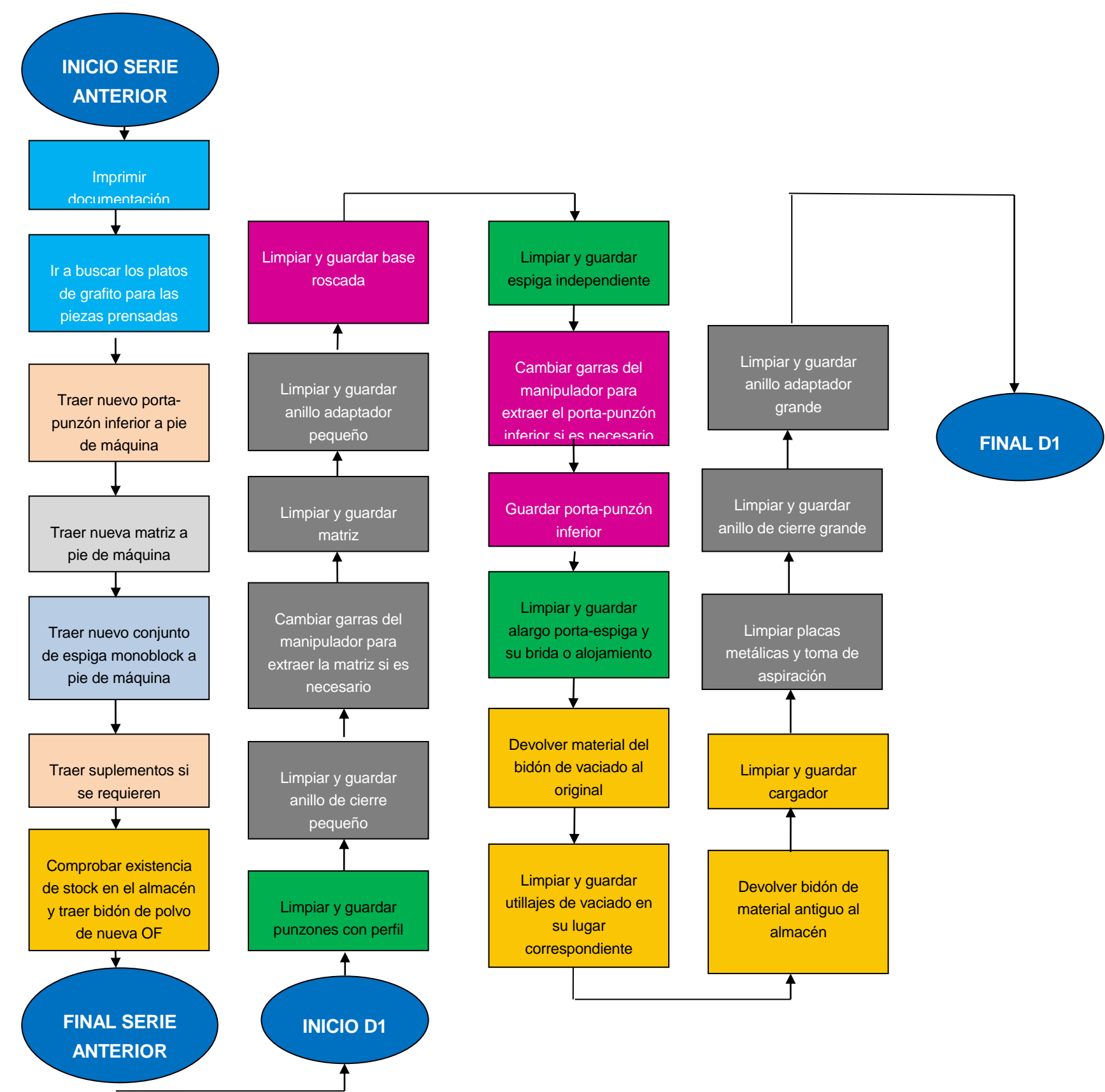


Diagrama 9. Diagrama de flujo de la preparación D1 después de aplicar las mejoras.



Tal y como se ha podido apreciar en los diagramas de flujo, la nueva cantidad de operaciones a realizar por el operario principal de la prensa es sensiblemente menor que en los diagramas originales que se analizaron al principio. Lo que se propone es un nuevo método de trabajo basado en que el operario principal se tenga que centrar únicamente en montar y desmontar los utillajes básicos y necesarios, dejando el resto de operaciones que son más secundarias al operario comodín. En este grupo de operaciones se incluyen:

- Impresión de la hoja de parámetros a introducir en la prensa y de la OF.
- Transporte de utillajes de las estanterías a máquina y viceversa. En el caso de las matrices y los porta-punzones inferiores se puede afirmar que se ahorrará más tiempo que en el resto de utillajes debido a que su transporte se realiza con el manipulador. En el caso de estos dos utillajes que se acaban de mencionar, se incluye también el tiempo ahorrado en el cambio de garras realizado en caso de que sea necesario.
- Limpieza de herramientas, utillajes (punzones, matrices...)
- Búsqueda de los platos de grafito indicados de acuerdo a la orden a prensar.

En el caso de que en la preparación se desmonte cargador y se cambie material (como es el caso de la preparación **D1**) se incluirían también las siguientes operaciones:

- Transporte de bidones de material del almacén a máquina o viceversa.
- Limpieza de más utillajes (placas de la mesa porta-matriz, anillo de cierre y adaptador grandes...) y elementos varios (cargador, tubos de llenado, utillaje de vaciado...).
- Devolución de material de bidón de vaciado al bidón original.

Tal y como se puede apreciar, estas propuestas de reducción de operaciones no sólo son válidas para estas 2 preparaciones concretas que se han explicado, sino que también pueden ser aplicables para todas las otras preparaciones que se vieron anteriormente. Es por esto que al principio del capítulo se decía que con mejorar algunas de las preparaciones ya se conseguirían reducir los tiempos de preparación, no sólo debido a que se hayan mejorado la más habitual y la más larga y/o compleja, sino también porque comparten muchas operaciones con el resto y casi todas las mejoras obtenidas podrían ser aplicables a otros casos.

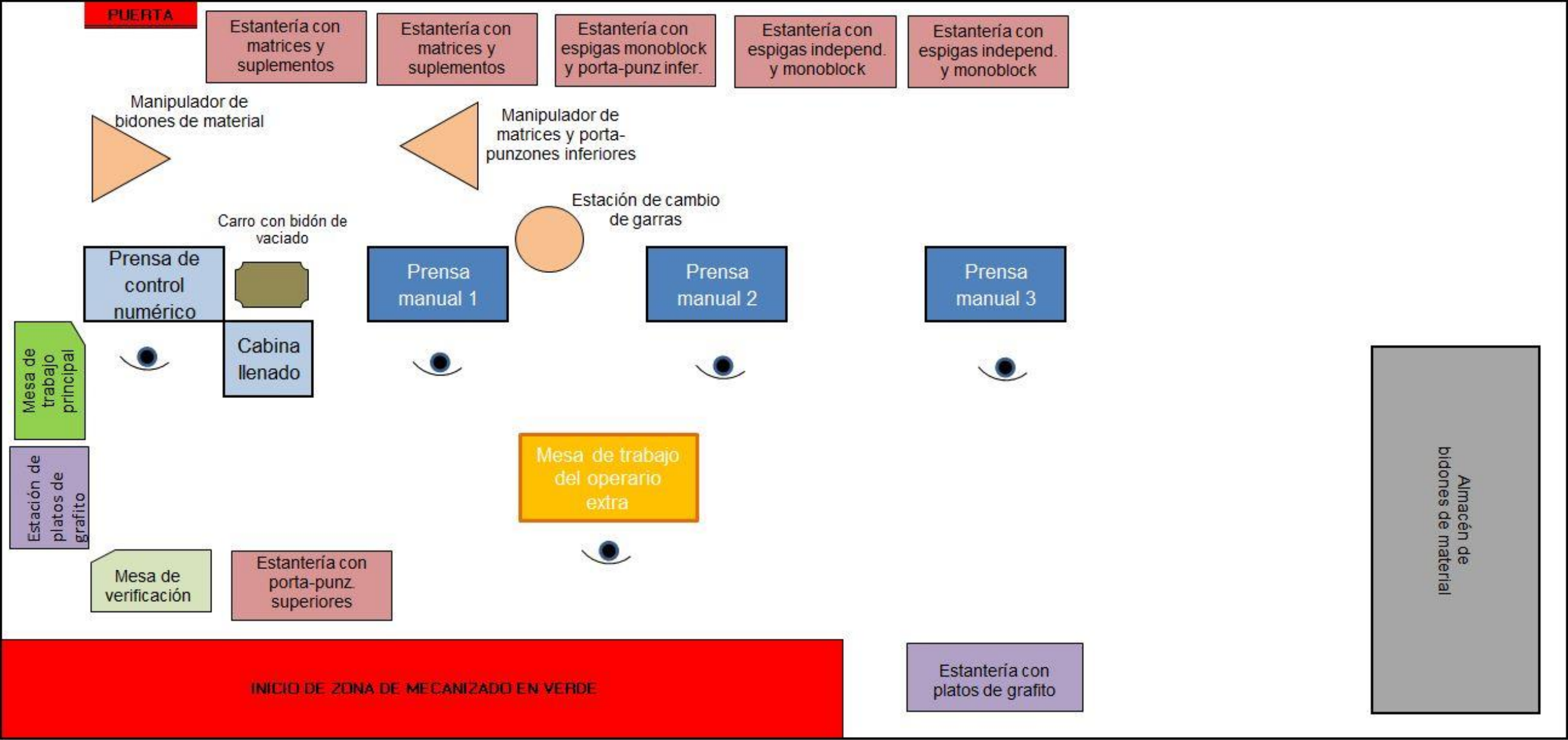
Se ha visto también a raíz de los diagramas que ahora el operario extra tendrá que realizar algunas de estas operaciones que se han mencionado de forma previa al comienzo de la preparación, es decir, cuando la máquina esté trabajando en la serie anterior. ¿Y por qué tienen que hacerse en la serie anterior y no durante la preparación? El motivo es porque se

trata de operaciones muy largas (transporte de matriz, transporte de porta-punzón inferior, transporte del bidón a máquina) que si se realizaran durante la preparación se correría el riesgo de que el operario principal se quedara un tiempo esperando a que el extra terminara de realizar alguna de estas tareas para poder continuar montando o desmontando la máquina. Un ejemplo podría ser que el operario principal hubiera desmontado ya la matriz de máquina, y como es lógico el extra tuviera que limpiarla y llevarla a su estantería correspondiente. Si además de esto, ha de traer después la nueva matriz a introducir porque se ha dicho que será él el que se encargue de todos los transportes de utillajes, entonces el operario principal estaría esperando desde el momento en que desmonta la matriz a que el otro la limpiara, guardara y trajera la nueva. De esta forma el operario de la prensa tiene ya todo el utillaje a pie de máquina listo para montar mientras el otro va guardando y limpiando lo que el principal desmonta. Entre este utillaje que se prepara durante la serie de piezas anterior se incluye la matriz, porta-punzón inferior, espiga, anillos de cierre y adaptadores... Además del utillaje a montar, y también por el mismo motivo comentado, se realizan también previamente a la preparación el transporte del bidón de material nuevo (en caso de que haya cambio de material) y el de los platos de grafito.

Aparte de éstas, hay otro grupo de operaciones las cuales el operario extra no puede anticipar a la preparación debido a que necesita que se monte o desmonte la máquina. Es por ejemplo el caso del transporte y limpieza de los utillajes montados en máquina de la orden anterior, como por ejemplo el porta-punzón inferior, la matriz... en los que el operario extra ha de esperarse a que el principal los desmonte de máquina para poder llevarlos y limpiarlos.

Como medida adicional para evitar posibles riesgos de espera del operario principal al extra, se ha decidido actuar mediante el SMED especialmente sobre las tareas externas que realiza este quinto trabajador con el objetivo de reducir (que fueron explicadas con anterioridad en la cuarta fase de Optimización del SMED) sus duraciones. Como una de las tareas principales de este operario es transportar y guardar los utillajes, se ha propuesto acercar todas aquellas estanterías que los contienen con el objetivo de reducir el tiempo de desplazamiento, que al final es un tipo de despilfarro. Con este mismo fin, se propone también acercar el parking del manipulador de matrices y porta-punzones inferiores a máquina.

A continuación, y para cerrar la propuesta de mejora, se muestra el *layout* pensado incluyendo todas las mejoras mencionadas, y pensado para reducir las distancias recorridas por el operario principal, pero sobre todo para el extra que es el que ahora se encarga del transporte de utillajes:



Imagen

74. Layout teórico de la zona de prensado después de aplicar las mejoras.

### 6.3. Plan de actuación

Ahora que ya se tiene conocimiento de la propuesta de mejora y de todos sus aspectos, tocaría definir el plan de actuación, es decir, qué movimientos se tendrían que hacer para poder implantar las mejoras. Éste se podría dividir en 6 pasos:

- 1. Acuerdo con el departamento de producción:** consistiría realizar reuniones para poder llegar a acuerdos con diferentes personas dentro del departamento de producción. Lo primero que se tendría que hacer sería cerrar el proyecto del SMED con el equipo formado a su inicio, y terminar de comprobar que todas las mejoras que se quieren aplicar sean las más adecuadas. Una vez chequeado y revisado el proyecto, se tendría que conseguir que tanto el jefe de planta como el jefe de producción dieran el visto bueno a las mejoras para poder proseguir con el proyecto, dado que la implantación de las mejoras conlleva no solo algunos cambios en la forma de trabajar, sino también la incorporación de una persona más en la plantilla. Después del OK de los jefes, se hablaría con la supervisora del área de prensas y mecanizado en verde para que diera también su confirmación al proyecto y a las modificaciones en parte del *layout* de su zona y a los procedimientos de trabajo. Por último, también se tendría que comentar con los operarios y trabajadores de la zona de prensas las mejoras que se quieren implantar allí para hacerles partícipes del proyecto y que den también el visto bueno a su realización, dado que al final dependerá de ellos el que se consigan o no las mejoras.
- 2. Acuerdo con el departamento de compras:** igual que con el de producción, se tendría que llegar a acuerdos con el departamento de compras para poder hacer efectiva la compra de los ítems requeridos con el nuevo *layout*.
- 3. Formación a los operarios:** se tendrían que organizar reuniones y formaciones cada cierto tiempo para instruir a los operarios sobre la nueva manera de trabajar y las nuevas tareas que tendrá el operario comodín.
- 4. Modificación del *layout* y pruebas:** una vez llegaran todos los elementos requeridos, se tendrían que distribuir en planta de acuerdo a la configuración descrita en páginas anteriores. Con el *layout* definitivo, se comenzarían a hacer primero simulaciones, y más adelante preparaciones de verdad para comprobar que todo transcurre como se había previsto en la propuesta de mejora, siempre bajo la supervisión de algún miembro del equipo SMED al menos al principio para poder corregir errores o solventar dudas.
- 5. Auditorías:** es una de las claves del *Lean manufacturing*, donde se dice que siempre



que se introduce una mejora concreta, por pequeña que sea, ha de comprobarse siempre más adelante que se mantiene el nuevo modelo de trabajo implementado. En este caso, lo que se haría es ir al cabo de un tiempo, fijar un cierto número de preparaciones a la semana a las que se vaya a asistir, y tomar nota de los tiempos de operaciones y de los métodos de trabajo seguidos, para comprobar que todo esté dentro de lo correcto. Lo ideal sería ir cuando todos los operarios ya estuvieran formados al 100% y ya tuvieran soltura con los métodos de trabajo, dado que así se obtendrían datos de tiempos y operaciones reales.

## 6.4. Métricas de evaluación

En todo buen proyecto, ha de haber siempre una métrica que defina el criterio de éxito de éste. Es decir, para poder valorar un proyecto a su finalización y comprobar si ha sido exitoso y ha cumplido con los objetivos, es necesario definir una métrica que te permita medir el estado del proyecto a su inicio y al final, para así poder comprobar su evolución. Un ejemplo puede ser este proyecto: su objetivo es reducir los tiempos de preparación. Pero se llega al final de proyecto y se ve que se ha conseguido reducir 1 minuto las preparaciones. Se han reducido las preparaciones, es cierto, ¿pero era la reducción que se buscaba? De ahí la importancia de definir una métrica que permita ver si se han logrado o no los objetivos.

En este proyecto la métrica utilizada ha sido el porcentaje de reducción de tiempo en las preparaciones tipo **E0** y **D1**. **El objetivo que se ha planteado es reducir los tiempos de preparación en ambos casos en al menos un 20%.**

El único problema que se tiene aquí es que como no se han podido aplicar las mejoras y tomar tiempos considerando el nuevo modelo de trabajo, no se podrá medir realmente si el proyecto ha sido exitoso o no. Debido a esto, lo que se intentará a continuación es intentar ver en base a previsiones si el proyecto resultaría exitoso con el objetivo que se ha propuesto o no.

## 6.5. Mejoras previstas

Lo que pretende este apartado es emular la toma de tiempos que se tendría que realizar una vez se hubieran aplicado las mejoras y con los operarios ya 100% formados y con experiencia para comprobar de forma aproximada si el proyecto resultaría exitoso. Para ello, lo que se ha hecho es coger todas las operaciones que se realizaban en cada una de las 2 preparaciones estudiadas, y ver cómo han evolucionado con la aplicación del SMED cada una de ellas: si se han mantenido iguales, si han visto su valor reducido o si bien han desaparecido y ahora las realiza el operario extra:



Preparación E0				
Proceso	Tiempo inicial	Operaciones externalizadas de la preparación	Tiempo reducido por mejoras	Porcentaje externalizado
Otras	15 min	1) Imprimir hoja de preparación  2) Buscar platos de grafito	1) - <b>0,25 min</b>  2) - <b>5 min</b>	1) 50%  2) 100%
Desmontar espiga monoblock	4 min	3) Limpiar y guardar espiga monoblock	3) - <b>1 min</b>	3) 25%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min			
Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	11 min	4) Limpiar y guardar anillo de cierre pequeño  5) Cambio de garras de la matriz  6) Limpiar y guardar matriz	4) - <b>0,5 min</b>  5) - <b>1 min</b>  6) - <b>1,5 min</b>	4) 25 %  5) 100%  6) 25%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	7) Sacar y limpiar suplementos  8) Cambio garras  9) Limpiar y guardar porta-punzón inferior	7) - <b>0,38 min</b>  8) - <b>1 min</b>  9) - <b>1,25 min</b>	7) 25%  8) 100%  9) 100%
Montar espiga monoblock	4 min	10) Buscar conjunto espiga monoblock	10) - <b>0,8 min</b>	10) 20%

Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	10 min	11) Buscar porta-punzón inferior y llevarlo a máquina  12) Buscar suplementos y llevarlos a máquina  13) Cambio de garras para introducir porta-punzón inferior	11) - <b>0,8 min</b>  12) – <b>0,6 min</b>  13) – <b>1 min</b>	11) 20%  12) 20%  13) 100%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	8 min	14) Cambiar garras para introducir matriz  15) Buscar y llevar a máquina el anillo de cierre pequeño  16) Buscar y llevar a máquina la matriz	14) – <b>1 min</b>  15) – <b>0,4 min</b>  16) – <b>0,9 min</b>	14) 100%  15) 20%  16) 20%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min			
Programación	6 min			
Hacer ceros y referenciar utillajes	3 min			
TOTAL	76 min	NUEVO TOTAL	59 min	
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN OBTENIDO		22, 37%		

Tabla 10. Mejoras teóricas experimentadas en la preparación E0.

Preparación D1				
Proceso	Tiempo inicial	Operaciones externalizadas de la preparación	Tiempo reducido por mejoras	Porcentaje externalizado
Otras	15 min	1) Imprimir hoja de preparación  2) Buscar platos de grafito	1) - <b>0,25 min</b>  2) - <b>5 min</b>	1) 50%  2) 100%
Desmontar espiga independiente	10 min	3) Limpiar y guardar espiga independiente  4) Limpiar y guardar punzones con perfil  5) Limpiar y guardar alargo porta-espiga y su alojamiento	3) - <b>0,63 min</b>  4) - <b>0,75 min</b>  5) - <b>1 min</b>	3) 25%  4) 25%  5) 25%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min			
Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	18 min	6) Limpiar y guardar anillo de cierre pequeño  7) Cambio de garras de la matriz  8) Limpiar y guardar matriz  9) Limpiar y guardar anillo	6) - <b>0,5 min</b>  7) - <b>1 min</b>  8) - <b>1,5 min</b>  9) - <b>0,13 min</b>	6) 25 %  7) 100%  8) 25%  9) 25%

		adaptador pequeño		
		10) Limpiar y guardar placas metálicas y toma de aspiración	10) -1 min	10) 25%
		11) Limpiar y guardar anillo de cierre grande	11) – 0,13 min	11) 25%
		12) Limpiar y guardar anillo adaptador pequeño	12) – 0,63 min	12) 25%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	13) Limpiar y guardar base roscada	13) - 0,5 min	13) 25%
		14) Cambio garras	14) – 1 min	14) 100%
		15) Limpiar y guardar porta-punzón inferior	15) – 1,25 min	15) 25%
Montar espiga monoblock	4 min	16) Buscar conjunto espiga monoblock	16) – 0,8 min	16) 20%
Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	7 min	17) Buscar porta-punzón inferior y llevarlo a máquina	17) - 0,8 min	17) 20%
		18) Buscar suplementos y llevarlos a máquina	18) – 0,6 min	18) 20%
		19) Cambio de	19) – 1 min	

		garras para introducir porta-punzón inferior		19) 100%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	16 min	20) Cambiar garras para introducir matriz  21) Buscar y llevar a máquina el anillo de cierre pequeño  22) Buscar y llevar a máquina la matriz  23) Buscar y llevar anillo de cierre grande  24) Buscar y llevar placas metálicas	20) – <b>1 min</b>  21) – <b>0,4 min</b>  22) – <b>0,9 min</b>  23) – <b>0,6 min</b>  24) – <b>0,6 min</b>	20) 100%  21) 20%  22) 20%  23) 20%  24) 20%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min			
Programación	6 min			
Hacer ceros y referenciar utillajes	3 min			
Desmontar cargador y/o cambio de material	46 min	25) Comprobar existencia de stock y traer nuevo bidón de polvo de almacén  26) Devolver material de bidón de vaciado al original	25) – <b>5 min</b>  26) – <b>3,5 min</b>	25) 100%  26) 50%

		27) Limpiar y guardar utillaje de vaciado	27) – 5,5 min	27) 100%
		28) Devolver bidón de material original al almacén	28) – 7 min	28) 100%
		29) Limpiar y guardar cargador y tubos de llenado	29) – 3,25 min	29) 25%
TOTAL	140 min	NUEVO TOTAL	101 min	
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN OBTENIDO		27,85%		

*Tabla 11. Mejoras teóricas experimentadas en la preparación D1.*

Para llevar a cabo estos cálculos de reducción de tiempos lo que se ha hecho es enumerar una por una todas las operaciones que se han externalizado y escribir su tiempo asociado. Sin embargo, así como algunas de las operaciones se han externalizado al 100% como es el caso de la búsqueda de los platos de grafito, cuyo tiempo medio se tiene y se sabe que es de 6 minutos, hay otras en que sólo se ha externalizado una parte, como es por ejemplo el caso del desmontaje de utillajes, de la que sólo se ha externalizado la limpieza y transporte dejando el desmontaje de máquina como operación interna y de las que no se saben los tiempos. Dicho de otra forma, lo que sucede es que algunas de las operaciones de los diagramas de flujo iniciales no se han podido externalizar al 100%, y sólo se ha podido hacer una parte de ellas, por lo que no se tienen tiempos tomados de estas pequeñas partes externalizadas y se han estimado a partir de unos porcentajes aplicados sobre la operación total. Para que se termine de entender se va a poner un ejemplo del cálculo de reducción de tiempos de la limpieza y transporte de la matriz:

Inicialmente se tomaron tiempos sobre el desmontaje de la matriz, que es una operación que incluye su desmontaje de máquina, limpieza y transporte hasta su estantería, y cuyo tiempo medio dio que eran 6 minutos aproximadamente (en realidad 6 minutos y 23 segundos). Teniendo en cuenta este tiempo redondeado, se ha considerado que el transporte y limpieza de la matriz, que ahora serán operaciones externas, representan un 25% del total del tiempo de desmontaje, por lo que se podría decir que ha conseguido reducir el tiempo de desmontaje

de la matriz en 1,5 minutos. Aplicando de esta forma los porcentajes que se definirán a continuación, se han conseguido obtener esos tiempos de reducción que se han mostrado anteriormente.

Ahora que ya se ha entendido cómo se han aplicado las reducciones de tiempos en aquellas operaciones que no se externalizan al 100%, se muestra en la siguiente tabla los porcentajes que se han decidido fijar para calcular estos tiempos de estas operaciones especiales mostradas anteriormente (aunque ya se mostraban en las tablas anteriores también):

Operación	Parte de la operación que se externaliza	Porcentaje externalizado
Montaje de utillajes	Elección de estantería y transporte a pie de máquina	20%
Desmontaje de utillajes	Limpieza, transporte y almacenaje en su estantería respectiva	25%
Imprimir hoja de prensa y fichar preparación	Imprimir hoja de prensa	50%
Desmontar bidón original de máquina y verter polvo de bidón de vaciado al original	Verter polvo del bidón de vaciado al original	50%

*Tabla 12. Porcentajes de reducción o externalización asociados a cada operación.*

Si se pone atención ahora en la tabla, se puede observar que los tiempos en ambas preparaciones han conseguido reducirse en más incluso de un 20%. En el caso de la preparación más habitual (**E0**) se ha conseguido pasar de 76 a 59 minutos de preparación, reduciendo en total un 22,37% el tiempo original de la preparación. En el caso de la preparación más complicada (**D1**), se ha conseguido pasar de 140 a 101 minutos, lo que supone un ahorro de tiempo del 27,85% de tiempo. Uno de los motivos principales por los que se ha conseguido reducir un poco más el tiempo de preparación en el caso del montaje **D1**, es porque muchas de las mejoras se han aplicado en la fase de cambio de material y/o desmontaje de cargador (que es una fase que no se encuentra en el montaje **E0**), dado que acciones como el transporte de bidones o devolución del material al bidón original se hacían

antes durante la preparación y ahora pasará a realizarlas el quinto operario.

Hay que tener en cuenta además, que los cálculos de tiempos de operaciones externalizadas al final se han hecho con porcentajes que si se observan las preparaciones se podría comprobar que realmente son más altos, como por ejemplo el caso de la limpieza y transporte de la matriz y el porta-punzón inferior, donde seguramente abarcaría el 50% del tiempo total de desmontaje en vez de sólo el 25%. En este proyecto se ha decidido aplicar porcentajes en general bajos para curarse en salud y asegurarse de que aunque ese fuera el caso se llegarían a conseguir los objetivos, pero si se tomaran tiempos reales con la última etapa de implantación y seguimiento del SMED realmente se podría comprobar que las preparaciones habrían disminuido su duración aún más.

Para finalizar este apartado, se mostrará una tabla comparativa en la que se puede ver cómo ha evolucionado el tiempo de cada proceso en las preparaciones a partir de las mejoras implantadas, que al final es lo que mostrará en cuáles de ellos se han aplicado más mejoras:

Preparación E0			
Proceso	Tiempo previo a la mejora	Tiempo post-mejora	Porcentaje de mejora
Otras	15 min	9,75 min	35%
Desmontar espiga monoblock	4 min	3 min	25%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min	3 min	0%
Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	11 min	8 min	27,27%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	5,37 min	32,88%



Montar espiga monoblock	4 min	3,2 min	20%
Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	10 min	7,6 min	24%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	8 min	5,7 min	28,75%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min	4 min	0%
Programación	6 min	6 min	0%
Hacer ceros y referenciar utillajes	3 min	3 min	0%

*Tabla 13. Mejoras por proceso experimentadas en la preparación E0.*

Preparación D1			
Proceso	Tiempo previo a la mejora	Tiempo post-mejora	Porcentaje de mejora
Otras	15 min	9,75 min	35%
Desmontar espiga independiente	10 min	7,62 min	23,8%
Desmontar taco superior y punzón superior	3 min	3 min	0%

Desmontar matriz, anillos de cierre, adaptadores, placas	18 min	13,11 min	27,16%
Desmontar taco inferior, suplementos y punzón inferior	8 min	5,25 min	34,38%
Montar espiga monoblock	4 min	3,2 min	20%
Montar taco inferior, suplementos y punzón inferior	7 min	4,6 min	34,29%
Montar matriz, anillos de cierre, adaptadores y placas	16 min	12,5 min	21,88%
Montar taco superior, punzón superior y centrar	4 min	4 min	0%
Programación	6 min	6 min	0%
Hacer ceros y referenciar utillajes	3 min	3 min	0%
Desmontar cargador y/o cambio de material	46 min	21,75 min	52,72%

*Tabla 14. Mejoras por proceso experimentadas en la preparación D1.*

Como se puede ver en ambas tablas, se consiguen mejorar de forma general todas y cada una de las operaciones en más de un 20% excepto en los casos de desmontaje y montaje del taco superior, programación y hacer ceros. Esto es debido a que estas operaciones tienen una duración ya muy corta de por sí y no se pueden optimizar mucho más. En el caso del taco superior, la estantería ya se encontraba al lado de la prensa, y lo que se tardaba en sacarla de

máquina y llevarla a la estantería eran apenas 5 segundos, por lo que se decidió no externalizar esta parte de la operación porque es algo que no le supone un gran gasto de tiempo al operario principal. Con respecto a la programación y referencia de los utillajes (hacer ceros), son procesos totalmente internos y que no aceptan a priori una externalización u optimización de ninguna de sus operaciones, motivo por el cual tampoco han experimentado ninguna mejora.

Otra de las cosas que se puede apreciar en la tabla y que llama significativamente la atención es el porcentaje de mejora del proceso de cambiar cargador y/o material, que es de un 52,72%. Al ser un proceso que ocupaba tantos minutos y que se ha reducido tanto, se ha visto reflejado después a nivel general en la preparación **D1**, la cual ha experimentado una reducción de tiempos más marcada que la **E0** tal y como se había comentado antes.

## 7. Presupuesto del proyecto mejora

Una vez realizada la propuesta de mejora, lo que se tiene que hacer ahora es calcular cuál sería su coste. Se pueden distinguir dos tipos de costes o gastos en esta propuesta: por una parte los honorarios que debería cobrar por haber realizado el proyecto, y después, todos los gastos derivados de la adaptación de las mejoras.

### 7.1. Honorarios

En este apartado se incluye el gasto que le generaría a la empresa el tener a un ingeniero diseñándole el proyecto de mejora y habiendo liderado el SMED. Al ser un trabajador interno de la empresa, no se cobrarían primas extra por la realización del proyecto, sino que únicamente se deberían contabilizar las horas invertidas en él y el precio hora al que se le paga a este ingeniero.

Desde que comenzó el proyecto a principios de Septiembre, se han contabilizado un total de 572 horas trabajadas hasta el último día del proyecto. Sin embargo, la dedicación a este proyecto en la empresa no ha sido total, sino que ha representado un cierto porcentaje del total del tiempo, dado que también se realizan otras actividades durante el día a día en la empresa. Se podría considerar que se han dedicado el 60% de las horas trabajadas al proyecto SMED, por lo que se obtienen un total de 343 horas dedicadas a él. Multiplicando estas horas por el precio/hora que cobra un ingeniero en esa empresa, que son 25 €/hora, se obtienen un total de 8.575 euros, que sería el dinero total de honorarios que se tendría que cobrar por haber realizado el proyecto.

### 7.2. Adaptación y coste de las mejoras

Aquí se deberían incluir todos los gastos derivados de la realización del proyecto, y que no incluyen el sueldo del líder del proyecto. Igual que al comienzo del capítulo, aquí se podrá realizar una división de los tipos de gastos.

Si se recuerda, la propuesta de mejora pasa básicamente por incluir un operario adicional en la zona de prensado y compactación, con el objetivo de ayudar al operario que está preparando en la prensa, pero también con la posibilidad de convertirse en un operario de otra prensa en caso de necesidad por falta de unos de ellos por causas varias. De la misma manera que se ha hecho con el sueldo del líder del proyecto, aquí se tendrá que contabilizar también cuál será el gasto que supone introducir un operario más en la línea de producción.

El precio por hora que cobra un operario en la empresa, teniendo en cuenta la sección en que

trabaja, es de unos 14 €/hora aproximadamente, por lo que teniendo en cuenta que se trabaja jornada completa, ganaría un total de 112 €/día. Considerando como norma general unos 21 días de trabajo al mes de media, trabajando 11 meses al año y con 1 mes de vacaciones pagadas, se obtendría un total de 28.224€. Es decir, el coste que tendría el incorporar un operario extra en prensas sería de 28.000 euros al año aproximadamente. Sin embargo, éste sería el coste de incorporar 1 **operario extra durante 1 turno**, por lo que si se quisiera tener este sistema de trabajo durante los **3 turnos del día**, se obtendrían un total de gastos **84.672 €/año en personal extra**.

Por otra parte, a este gasto, que es sin duda el más significativo de las mejoras, se tendría que añadir las inversiones iniciales que se tuvieran que realizar para **comprar el nuevo mobiliario** del que se habló en el nuevo *layout*, que consistía básicamente en la compra de una nueva mesa de trabajo para el operario que actuara como comodín, y la adquisición de otro pequeño mueble o estantería para montar una estación de platos de grafito al lado de la prensa. El valor de estos ítems se estima en unos **300 y 180 €**, unos valores un poco altos teniendo en cuenta que al final se trata de una mesa para limpiar los utillajes y una estantería para dejar los platos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que ambos elementos han de ser capaces de resistir valores altos de fuerza, motivo que hace que se incremente su precio ligeramente.

Además de todo esto, se tiene que incluir también en la inversión **las horas no productivas empleadas para la formación de los operarios** y para el **rediseño de la zona de prensas** contabilizadas en forma de dinero. Con respecto al cálculo de las horas no productivas de formación, se considera que con 8 horas de formación por operario (es decir, un turno de trabajo) será más que suficiente para que asimilen el rol y las tareas que tendrá la nueva posición de trabajo. Como habrá un total de 15 operarios en la plantilla (12 de prensas y 3 comodines), se tendrán que emplear un total de 120 horas de formación en las que la respectiva prensa del operario no estará produciendo (siendo un **total de 4 prensas**, dado que uno de los operarios no está en una prensa y está como comodín). Considerando que se realizan una media de 2 preparaciones por turno en cada prensa, prensando unos 50 anillos por preparación, se obtienen un total de 100 anillos/prensa·turno, lo que quiere decir que se tiene un total de 400 piezas prensadas al final del turno de trabajo entre las 4 prensas. Al emplearse 3 turnos de trabajo para las formaciones, se dejarán de producir un total de 1200 piezas. Cada una de estas piezas con un coste unitario de un 15% del precio venta al público (que si se recuerda era de 240€) da un total de 36€/pieza, que multiplicado por las 1200 piezas que se han dejado de fabricar en los turnos de formación da un total de 43.200€.

En la siguiente tabla se muestra el total de gastos que se tendrían que afrontar con el proyecto:

<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE MEJORA</b>	
<b>INVERSIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>
Honorarios del proyecto	8.575 €
Compra de nuevo mobiliario	480 €
Formación a operarios	43.200 €
<b>Inversión total</b>	<b>52.255 €</b>
<b>GASTO ANUAL</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>Salario operarios extras</b>	<b>84.672 €/año</b>

Tabla 15. Tabla de presupuesto del proyecto de mejora.

## 8. Viabilidad económica

Una vez analizadas las fuentes de gasto que supondría la implantación del proyecto, debería ahora analizarse su viabilidad económica y comprobar que sea un proyecto económicamente beneficioso para la empresa. Para ello, lo que se hará es realizar un cálculo de los principales indicadores de la viabilidad económica de un proyecto: el VAN (Valor Actualizado Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

El VAN es un indicador económico que sirve para medir la rentabilidad económica de un proyecto. Si al calcular el VAN de una inversión se obtiene un valor positivo quiere decir que esta inversión es rentable, y en caso de que el valor obtenido sea negativo entonces dejaría de serlo. El VAN se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^T \frac{Q_t}{(1+i)^t}$$

*Fórmula 2. Cálculo del VAN*

El parámetro  $A$  es la inversión inicial realizada, Las  $Q_t$  corresponden a los flujos de tesorería para cada período  $t$  y la  $i$  es la tasa de interés anual. Aparte del VAN, como se ha dicho se calculará otro indicador económico que es complementario del VAN, y que es un indicador de la rentabilidad relativa, denominado TIR. Se calcula igualando la suma de los flujos de tesorería a 0, y aislando la tasa de interés anual. En general, interesarán solo los proyectos que tengan un TIR superior o igual al coste del capital (es decir, al tipo de interés  $i$  impuesto por el mercado). A continuación se muestra la fórmula para calcularlo:

$$-A + \sum_{t=1}^T \frac{Q_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

*Fórmula 3. Cálculo del TIR*

Para calcularlos, se ha tenido que ver antes cuáles son los beneficios anuales y compararlos con los gastos anuales de pago de sueldo que se tendrá que realizar. Para calcular el beneficio anual, lo primero que se ha hecho es suponer que se realizan un total de 2 preparaciones con sus 2 series de piezas respectivas por turno (se considerarán únicamente de tipo **E0** para simplificar los cálculos), que más o menos es lo que se observa que sucede cada día en la prensa semiautomática. Si se han conseguido ahorrar 17 minutos por cada



preparación, se puede ver que en las 24 horas del día, en las que en la empresa hay 3 turnos se ahorrarían un total de 102 minutos. Lo que hay que hacer ahora es conseguir pasar estos minutos a euros, para así calcular el beneficio anual. Para ello se tienen que tomar los tiempos de las operaciones que se realizan entre una y otra pieza cuando se está trabajando en serie, para así poder tener el número de minutos que tarda en salir una pieza, y transformar los 102 minutos en piezas de más fabricadas al día.

Se ha considerado que el tiempo que transcurre entre que sale una y otra pieza es de unos 7,5 minutos, debido a que se incluyen aquí el tiempo de vertido y enrasado del polvo de cada pieza (3 minutos aproximadamente), la duración del ciclo de prensado (30 segundos), la extracción de la pieza y verificación de la altura, peso y grietas (4 minutos aproximadamente). Si se pasan estos 102 minutos a piezas extra que se fabrican al día, teniendo en cuenta que cada 7,5 minutos sale una pieza, se obtiene un total de 13 anillos al día que se producen de más.

Cogiendo como beneficio unitario de cada anillo un total de 36 €, se obtiene un beneficio diario de 468 €, que pasándolo a beneficio anual trabajando 21 días al mes de media durante 11 meses al año (el mes de vacaciones sumando todos los días festivos del año no se produce porque la empresa está cerrada), se obtendrían un total de 108.108€ anuales. El beneficio unitario de cada pieza se ha calculado considerando que la tasa de ganancia de la empresa por pieza es un 15% del precio total de venta al público que son, si se recuerda, 240 €, es decir, se obtendrían 36 € por pieza.

$$13 \frac{\text{anillos}}{\text{día}} \cdot 21 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \cdot 11 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 36 \frac{\text{€}}{\text{anillo}} = 108.108 \text{ €/año}$$

*Fórmula 4. Cálculo del beneficio anual conseguido con la mejora.*

Una vez que se tiene el beneficio anual, solo faltaría imponer la tasa de interés anual para poder calcular el VAN, y establecer el período de inversión del proyecto. Para este caso, se supondrá que la empresa no afronta la inversión a partir de sus propios medios, sino que tiene que pedir un préstamo a algún banco, y que por tanto se aplica una tasa de interés del 5%, que es un valor estándar. Con respecto al período de inversión, se considerarán 2 años, que es un período de tiempo más que razonable para haber amortizado la inversión inicial.

Ahora ya se tendrían todos los parámetros necesarios para calcular el VAN, dado que se tienen también la inversión inicial que se ha realizado (que era el sueldo del líder del proyecto, el coste del mobiliario adquirido y las horas de formación) por valor de 52.255 €, los ingresos anuales por valor de 108.108€ al año, y por último también los costes fijos de personal

anuales de 84.672 €:

CÁLCULO DEL VAN, TIR Y PAYBACK	Período de inversión			
	0	1	2	3
Ingresos anuales obtenidos por la mejora		108.108 €	108.108 €	108.108 €
Inversión inicial	52.255 €			
Costes fijos		84.672 €	84.672 €	84.672 €
Total pagos	52.255 €	84.672 €	84.672 €	84.672 €
Flujo tesorería	-52.255 €	23.436 €	23.436 €	23.436 €
Flujo acumulado	-52.255 €	-28.819 €	-5.383 €	18.053 €
Flujo actualizado	-52.255 €	22.320,00 €	21.257,00 €	20.244,00 €
Flujo actualizado acumulado	-52.255 €	-29.935 €	-8.678 €	11.566 €

Tabla 16. Tabla de cálculo del VAN, TIR y Payback.

Como se puede ver a partir de la tabla, el cálculo del VAN a lo largo de los 3 años que se consideran como horizonte de inversión es positivo, y tiene un valor de 11.566 € (es el valor del flujo actualizado acumulado), lo que quiere decir que la inversión es rentable.

Con respecto al cálculo del TIR, se obtiene un valor de 16,44%, un valor que es superior al 5% de tasa anual que se había considerado y que confirma junto con el VAN la rentabilidad del proyecto.

Otro parámetro que también era interesante calcular es el *payback* o período de retorno de la inversión, cuyo valor obtenido ha sido de 2,2 años que equivale a unos 2 años y 2 meses aproximadamente, que es el tiempo que pasa hasta que se recupera la inversión realizada.

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se puede confirmar que la propuesta de mejora es rentable para la empresa.

## 9. Impacto medioambiental

Para empezar a cerrar el proyecto, se terminará de evaluar su impacto no sólo a nivel económico como se ha hecho anteriormente, sino que también se mirará cómo puede repercutir su aplicación en el medioambiente. Al tratarse de un proyecto de reducción de tiempos en vez de ser de algún otro tema con más impacto medioambiental será difícil medir a nivel cuantitativo las mejoras o empeoramientos experimentados en el entorno, por lo que se optará por hacer una valoración más cualitativa.

Para realizar este análisis, se hará uso de una de las principales herramientas de evaluación del impacto medioambiental: la matriz **MET**, que es un método de análisis ambiental cualitativo que se aplica para obtener una visión general de las entradas y salidas de cada etapa del ciclo de vida del producto e identificar los principales aspectos ambientales. El problema de esta herramienta, como se puede ver, es que sirve para evaluar el impacto ambiental durante el ciclo de vida de un producto diseñado, mientras que lo que se quiere evaluar aquí es más bien la aplicación de un proyecto. Lo que se hará por tanto es coger sus 3 parámetros principales que componen la matriz, que son **Material consumido**, **Energía consumida**, y **materiales Tóxicos y emisiones** (incluyendo residuos) y ver cómo el proyecto influiría en ellos con la mejora.

### Materias Primas

La reducción de los tiempos de preparación de la prensa, como es lógico, tiene consecuencia sobre la materia prima, y es que cuanto menos tiempo se tarde en realizar la preparación, menos cantidad de polvo se necesitará prensar. Y esto es así por los siguientes motivos:

La reducción de los tiempos de preparación de la prensa se ha conseguido lograr como fruto de un estudio exhaustivo de las operaciones, procesos, utillajes y distribución de la planta, y mediante sus posteriores optimizaciones. La aplicación del SMED, lo que ha permitido es definir un proceso a seguir bastante más simple que el que se hacía inicialmente, dado que ahora no sólo se realizan menos operaciones y además en menos tiempo, sino que además se ha optimizado el recorrido a realizar por el operario y hay muchos movimientos que él ya no tiene que hacer. Es por esto que si el proceso a seguir es más sencillo y corto de hacer, **hay menor riesgo de equivocación por parte del operario**, y por tanto la **cantidad de piezas malas generadas también disminuye, haciendo a su vez que disminuya la cantidad de polvo empleado para fabricarlas**.

### Materiales Tóxicos, emisiones y residuos

Siguiendo la misma línea de lo mencionado, si se ha simplificado el proceso de preparación de

las piezas y se logra hacerlo en menos tiempo, el riesgo de cometer una equivocación es más pequeño y **las piezas malas o de scrap**, tal y como se ha dicho, **han de disminuir también. La reducción del scrap, al final, contribuye mucho al medioambiente**, dado que todas las piezas que son consideradas malas porque no se han prensado dentro de las medidas o cotas especificadas son desechadas sin ninguna posibilidad de reaprovecharse en la propia planta. Además, se trata de **piezas compuestas de metal duro que contienen un cierto porcentaje de cobalto**, que como se sabe es tóxico e inhalado en cantidades muy elevadas puede ser muy perjudicial, no sólo para el medioambiente sino también para el ser humano, por lo que siempre que se consigan reducir la cantidad de piezas a desechar será mucho mejor.

También habría que tener en cuenta la **posible ruptura de utillajes causada en las preparaciones**. Al inicio de la asistencia a preparaciones, en las primeras a las que se fue, hubo algunos casos de ruptura de utillajes causados por el desconocimiento de los procesos a seguir a la hora de preparar la máquina, dudas sobre el orden de las operaciones... Al final, la optimización y mejora de los tiempos mediante todo el estudio que se ha realizado contribuirá también a que el número de utillajes fracturados disminuya, por lo que es otra fuente de residuos que también se vería reducida.

### **Energía consumida**

Por último, queda comentar el cómo la aplicación de la mejora puede afectar en la energía consumida por la máquina. Parece claro que cuanto **menos se tarde en realizar la preparación, menos tiempo permanecerá la prensa encendida consumiendo energía**, por lo que la energía consumida durante la preparación a nivel eléctrico también disminuirá.

Además de la prensa, hay otro elemento que se utiliza también en las preparaciones, y que como consecuencia de la reconfiguración de *layout* también disminuirá la energía consumida, que es el **manipulador de matrices y porta-punzones inferiores**. El recorrido que tendrá que efectuar ahora hasta la prensa y hasta las estanterías es mucho menor que el original, por lo que **la reducción de la energía consumida por medio de esta máquina también se tendría que contabilizar**.

## Conclusiones

Para cerrar este gran proyecto, se incluye el último capítulo de todos, en el que se hará un balance de todo lo que se ha hecho, se mirará el grado de cumplimiento de los objetivos que se propusieron al inicio y se hará una pequeña valoración de las competencias adquiridas con la realización de este trabajo.

### Balance general

Ha sido un proyecto de gran envergadura, en el que se ha aprendido sobre muchos aspectos del *Lean Manufacturing*, no sólo a nivel teórico sino también a nivel práctico. Lo primero que se hizo antes de comenzar a aplicar el SMED fue realizar un pequeño estudio previo sobre algunos de los aspectos más importantes del *Lean* a día de hoy, además de un pequeño paso por sus orígenes y aparición, para tener claros los conceptos básicos para la parte más práctica del trabajo. Una vez se tenían las bases claras, se procedió a explicar el caso que se iba a estudiar, con su posterior justificación y motivos que llevaron a ello.

Con el caso muy claro y definido, comenzó el proyecto SMED, que tuvo varias etapas: Una primera en la que se estudiaron e identificaron a conciencia utillajes, procesos, secuencia de operaciones y *layout* de la zona, con el objetivo de poder tener muchos frentes por los que atacar e introducir mejoras para cumplir con los objetivos previstos. Como fruto de este estudio tan exhaustivo, se creó el diagrama de flujo, del cual al final se estudiaron las 2 preparaciones más significativas de la prensa: la más habitual y la más compleja. Es entonces cuando dieron comienzo la segunda y tercera etapa del SMED, ya centradas en esos 2 diagramas, y con el objetivo de diferenciar el set-up externo del interno y externalizar después el máximo de tareas internas posibles. Por último, llegó la etapa de optimización, en la que se explicaron las propuestas para reducir los tiempos de las operaciones, y la etapa de implantación y seguimiento, que quedó pendiente de poder verse en planta.

Para cerrar todo el proceso del SMED se realizó la propuesta de mejora que englobara todos los cambios que se habían mencionado, se explicó el *timing* en los procesos que se debería seguir en caso de aplicar las mejoras, se explicaron las métricas utilizadas para poder evaluar más adelante el proyecto y saber si ha sido exitoso o no y se predijo a nivel teórico las mejoras que se obtendrían y si se había cumplido el objetivo principal de reducir las preparaciones estudiadas como mínimo en un 20%.

Por último, se ha realizado un recuento del presupuesto necesario para poder aplicar las mejoras, y se ha comprobado que el proyecto sea viable económica y medioambientalmente.

### Grado de cumplimiento de los objetivos y competencias adquiridas

En relación con los objetivos que se establecieron al inicio del proyecto, hay algunos que se han cumplido y alguna parte que no:

- Se han aprendido cuáles son las bases del *Lean Manufacturing*, sus herramientas principales más utilizadas a día de hoy, y la historia y aparición del *Lean* a raíz de la mejora continua, por lo que estos objetivos sí que se han cumplido.
- Se han aprendido las bases del SMED, y cómo aplicarlo a nivel teórico. A nivel práctico, se ha conseguido aplicar 4 de las 5 etapas de las que está compuesto, a falta de su implantación y seguimiento en planta, por lo que a nivel práctico ha quedado pendiente esta última fase.
- Teóricamente se han conseguido reducir los tiempos de preparación de la prensa en las 2 preparaciones marcadas en más de un 20%, concretamente en un 27,85% y 22,37% en los casos de preparación más compleja y más habitual respectivamente, por lo que se ha cumplido este objetivo, que era el más importante de todo el proyecto. Si se implantaran las mejoras a nivel práctico se podría seguramente comprobar que las mejoras van más allá y que los tiempos incluso son más bajos que los teóricos previstos.
- Se ha aprendido con mucho nivel de detalle en qué consiste el proceso de prensado y los principales parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de prensar una pieza, por lo que este objetivo también se ha cumplido.
- Se ha aprendido a discernir cuál es el caso, de entre todos los posibles, más necesitado de mejoras para aplicar, gracias a las diferentes técnicas y herramientas que se han utilizado como el diagrama de flujo de los anillos o el estudio ABC de productos.
- Otra cosa importante para el SMED era aprender a tomar tiempos de preparación, que parece una tarea sencilla pero no lo ha resultado tanto, debido a que se tiene que observar, medir y apuntar de forma simultánea. A raíz de asistir a muchas preparaciones, se han conseguido realizar todas las tareas a la vez.
- Por último, pero no menos importante, se ha aprendido a convivir y a trabajar en equipo con personas con opiniones y puntos de vista muy diferentes, que a nivel personal era otro objetivo muy importante.

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi tutor de TFG José Figueras el esfuerzo realizado y las ayudas que siempre me ha proporcionado para sacar adelante el proyecto.

También darle las gracias a mi tutor de la empresa, Álex Domingo, porque gracias a él he conseguido aprender muchísimo sobre el *Lean Manufacturing* y su importancia en la industria.

Por otra parte, también quería agradecer a mi familia el apoyo que siempre me han brindado, no sólo en este trabajo, sino en toda la carrera.

Por último, me gustaría dar las gracias a mi compañero del trabajo, experto del área de sinterizado y prensas hidráulicas, Pau Baquero, por todas las horas dedicadas a estudiar las preparaciones de la prensa, porque sin su ayuda no habría sido posible el trabajo.



## Webgrafía y bibliografía

### Webgrafía

- <https://leanmanufacturing10.com/herramientas-lean-manufacturing-mas-importantes-implantarlas>
- <http://www.enjoybycae.net/4-etapas-definen-el-metodo-smed-1/>
- <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-2364-reduccion-tiempos-fabricacion-sistema-smed.aspx>
- <https://www.progressalean.com/que-es-smed/>

### Bibliografía

#### Referencias bibliográficas

-

#### Bibliografía complementaria

- [1] MIKE ROTHER and JOHN SHOOK, *Learning to see: Value Stream Mapping to add value and eliminate muda*, Lean Enterprise Institute: 1999.

